

二輪車用チューブレスタイヤの空気圧 モニタシステムの開発

Development of Tire Pressure Monitor System for Motorcycle with Tubeless Tire

織田 雅良*
Masayoshi ORITA

原田 智之*
Tomoyuki HARADA

山際 登志夫*
Toshio YAMAGIWA

要 旨

タイヤの空気不足や漏れをライダーに迅速に知らせる二輪車用タイヤ空気圧モニタシステムを開発した。二輪車のタイヤ内の空気圧と走行による圧力・温度変化やパンク時の圧力低下を測定し、空気圧の温度補正を行うことで高いモニタ精度を得た。空気漏れ速度を圧力変化と温度変化から換算して空気漏れ判定を行っている。タイヤバルブとセンサを別体化してタイヤ内へ取付けることにより、車輪の回転アンバランス調整量を低減している。ライダーに対する空気圧や警報の表示は走行中の認知度を上げる方式とした。

ABSTRACT

A tire air pressure monitor system for motorcycles was developed. The system quickly informs a rider of air pressure shortage or air leak of tire. High monitoring accuracy was obtained by compensating temperature of air pressure by measuring of air pressure in tire, changes in pressure and temperature during running, and lowering of air pressure at flat tire. An air leak is judged by speed of the air leak converted from air pressure change and temperature change. The adjustment of the unbalanced revolution of wheels was minimized by mounting the separated tire valve and the sensor. Indication of the air pressure and alarm to a rider was for enhancing the recognition during running.

1. まえがき

最近の二輪車用タイヤの大型化や扁平タイヤの普及により、ライダーがタイヤの空気圧不足や空気漏れを感じる事が難しくなっている。そのためパンクなどによる急激な空気漏れを早期にライダーに知らせたり、低空気圧走行による燃費悪化を防止するため、タイヤ空気圧の低下を検知してライダーに知らせるシステムを開発した。空気漏れの検出方法として、アンチロックブレーキシステムの車輪回転速度検出機能を利用して前後車輪の回転速度差を検出する「間接式」と直接タイヤ内の空気圧の変化を検出する「直接式」の二つが考えられる。「間接式」は比較するタイヤが二つしかない二輪車では高い検出精度を得ることが困難なので「直接式」を採用した。空気漏れを正確に検出するためにはタイヤ空気圧の変動要因となるタイヤの温度と圧力変化の関係を観察しなければならない。

また、タイヤ温度の上昇もタイヤ故障の一要因となるため、限界温度を把握する必要がある。ライダーへの異常告知の伝達手法として二輪車に適した表示システムも重要である。現在、四輪車用の空気圧モニタは実用化されているが、今

回、二輪車用として世界初の空気圧モニタシステムを開発した。

2. 開発の目標設定と課題

二輪車用のタイヤ空気圧モニタの開発に当たり、二輪車特有のタイヤや走行条件を考慮して目標と課題を設定した。

- (1) タイヤ空気圧と温度の走行時変化を把握してタイヤ故障につながる空気圧異常を適確にライダーに知らせるシステムを構築する。
- (2) 低圧走行でのタイヤ破損と温度の関係を把握してタイヤ故障を事前予知できる温度を設定する。
- (3) 世界で最も弱電波の日本法規内で安定した送受信を実現し誤受信を防止する通信システムを開発する。
- (4) システム故障時もライダーが故障を識別できる表示システムを開発する。
- (5) 組付性を考慮したセンサを開発する。
- (6) 二輪車の製造ラインから販売までの中で、送信機の寿命 10 年を確保するための電池節約システムを開発する。

3. タイヤ故障予測のための空気温度と空気圧の解析

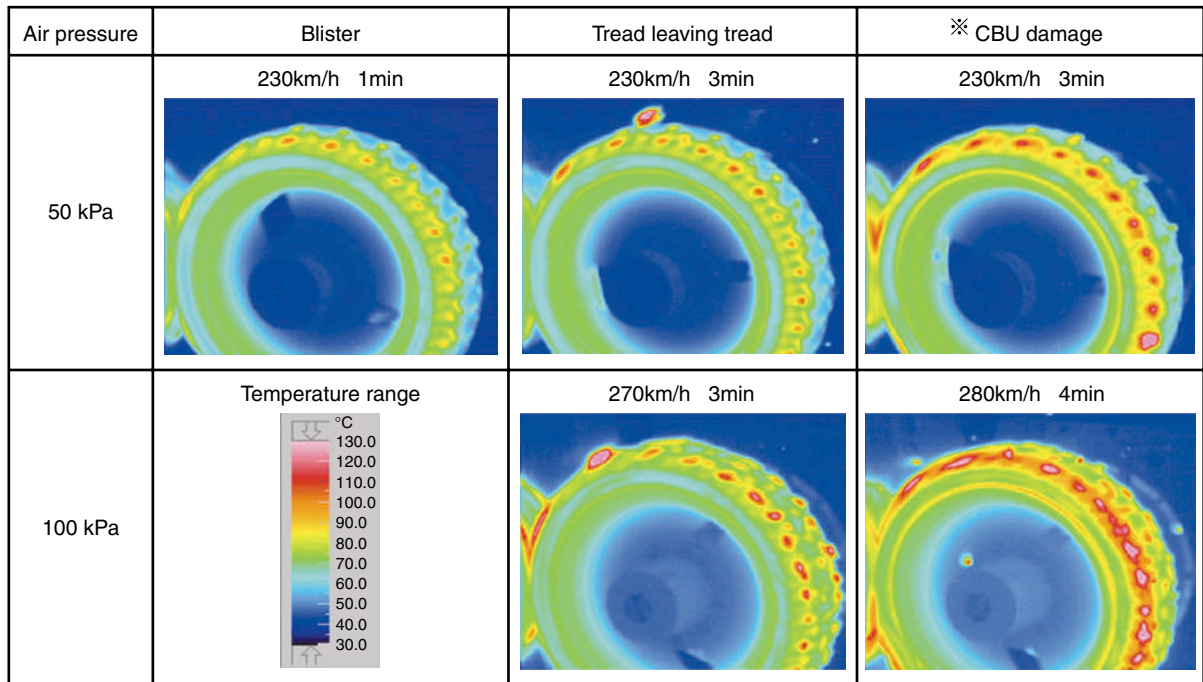
タイヤ故障を予測するために、タイヤ空気圧とタイヤ内温度がタイヤ故障とどのような相関があるのか解析した。また、パンク時の急激な圧力変化の事象を分析してその予知・予測の可能性を検討した。

3.1. タイヤ破損時のタイヤ温度

低空気圧で走行し続けると、チッピングによりタイヤが

破損することがある。ここでは、テストドラム上で走行させる耐久テストを行いタイヤ表面温度とタイヤ内の空気温度に注目し破損する経過を測定した。初期冷間時の空気圧を 50, 100, 150, 200, 280kPa に設定して、速度を 170 ~ 280km/h まで段階的に上昇させた。Fig. 1 および 2 にサーモグラフィによるタイヤ表面の温度状況を示す。

空気圧が低い状態ではタイヤトレッドパターンの左右ブロックが高温になりチッピングが発生してくる。また、空気圧が比較的高い 200kPa のときも、高速域になるとトレッド中央の一部の表面温度は高温となりチッピングが発生し



※ CBU: Cord breaking up

Fig. 1 Temperature images of tire surface: Air pressure 50, 100 kPa

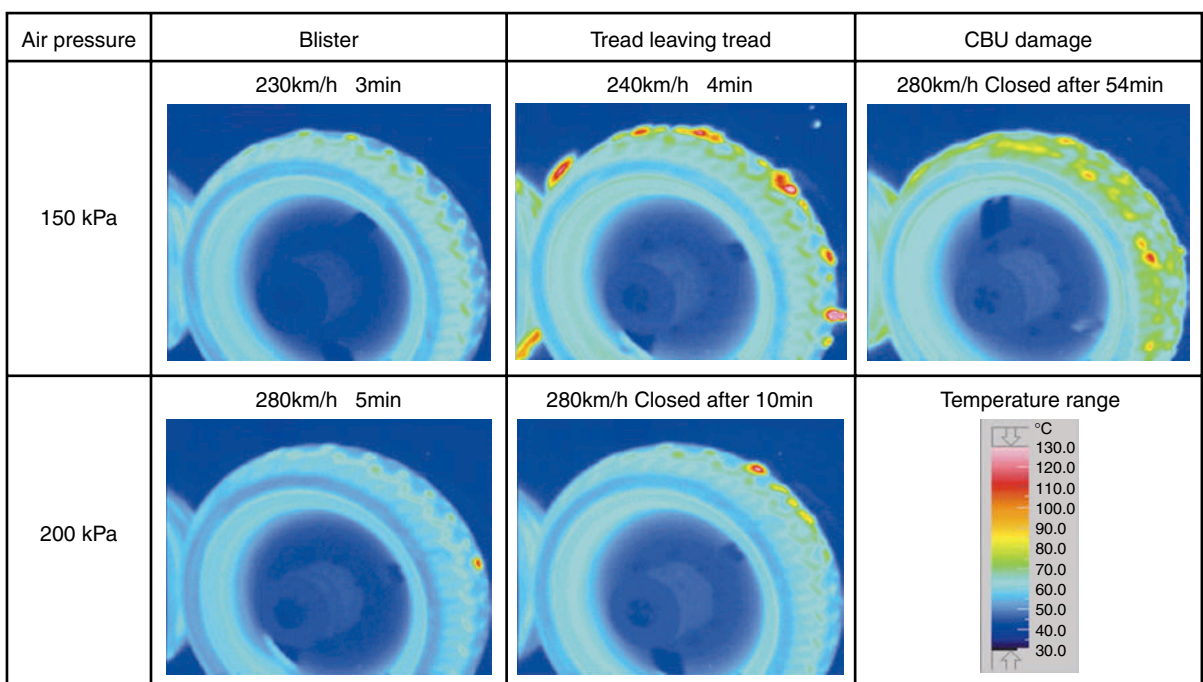


Fig. 2 Temperature images of tire surface: Air pressure 150, 200 kPa

ている。Fig. 3はトレッド表面、サイドウォール表面、タイヤ内空気の温度とタイヤ空気圧の関係を示す。これらはいずれも最終的にタイヤ故障になった事例である。トレッド表面温度とタイヤ内の空気温度と相関は認められるがトレッドの表面温度とサイドウォールの表面温度では大きく異なる。その差は空気圧が高い方が大きくなる。また、タイヤ空気圧の低い方が、サイドウォールのたわみ量が増加して発熱が大きくなりタイヤ内温度が高くなる。Fig. 4はタイヤ空気圧をパラメータとしてタイヤ内空気温度をプロットしたものである。空気圧が低いほどタイヤ屈曲による発熱が大きくなりタイヤのチッピングやバーストが起きやすくなるのが分かる。Fig. 5にタイヤ内空気温度と速度の関係およびタイヤ故障の結果を示す。高い速度域でタイヤ故障が発生しやすくなっている。Fig. 6はタイヤ内温度と走行距離の関係およびタイヤ故障の結果を示す。タイヤ故障はタイヤ内温度が高くなるときに起きやすく、高温域での走行可能距離は短くなる傾向を示している。

前述の三つのグラフから、温度が高い、タイヤ空気圧が低い、速度が高いほど、タイヤ故障を生じやすいことが分かる。さらに、高負荷荷重などの条件が重なると、急激な温度

上昇をとめない故障が発生する可能性が高くなる。Fig. 4, 5 および 6 から分かるようにバーストやチッピングなどのタイヤ故障の多くは温度 100℃以上で発生している。したがって、温度異常警告温度を100℃に設定した。この温度異常警告は、低圧走行の延長上で発生するタイヤの故障時に低圧警報の2次警報としての機能を併せ持つことになる。他方、過積載によるタイヤの異常たわみや、タイヤの許容速度レンジ以上の使用はタイヤ温度を上昇させることがある。温度異常警告によってこのようなタイヤ故障予知の可能性が高くなる。

3.2.パンク時の空気漏れ速度の検証

タイヤ故障ではタイヤゴムからの自然空気漏れの低圧走行と異物などが刺さるパンク故障が多い。急激な圧力低下がよく見られるケースとしては一般道でタイヤに刺さった釘が高速走行中に抜ける事象がある。この事象を把握するための再現テストとして、タイヤにφ 2.8 の釘を刺した状態でテストドラムにセットして0～120km/hまで段階的にスピードを上げて走行させた。Fig. 7に空気漏れと測定結果を示す。

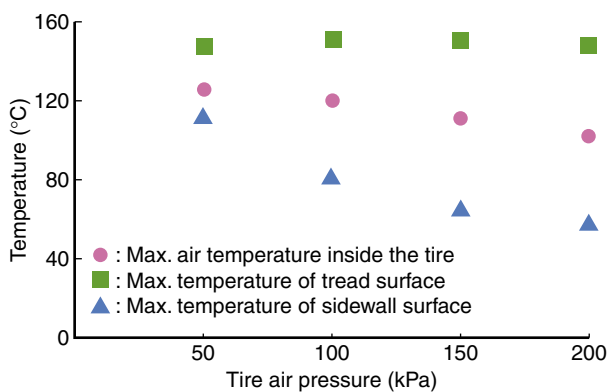


Fig. 3 Relation between temperature of each part of tire and air pressure in tire

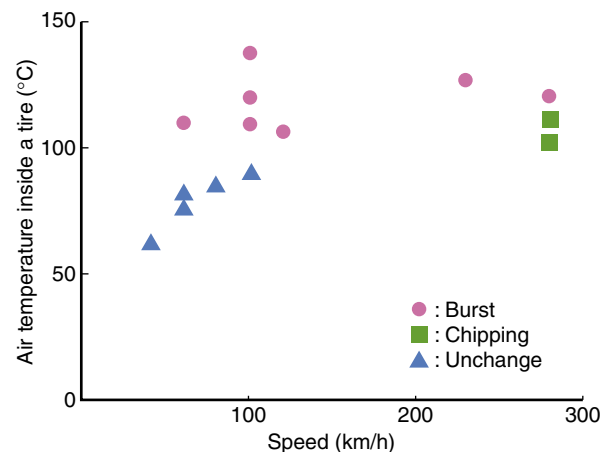


Fig. 5 Relation between air temperature in tire and drum rotation speed at failures

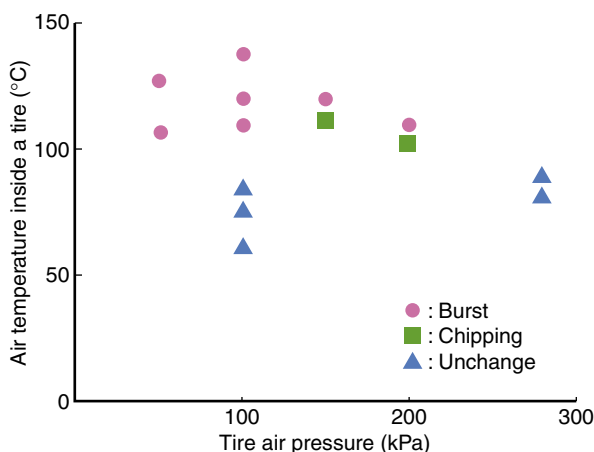


Fig. 4 Relation between air temperature and air pressure in tire at failures

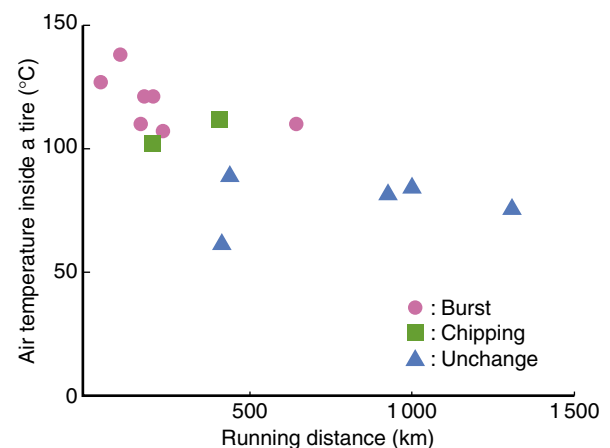


Fig. 6 Relation between air temperature in tire and running distance at failures

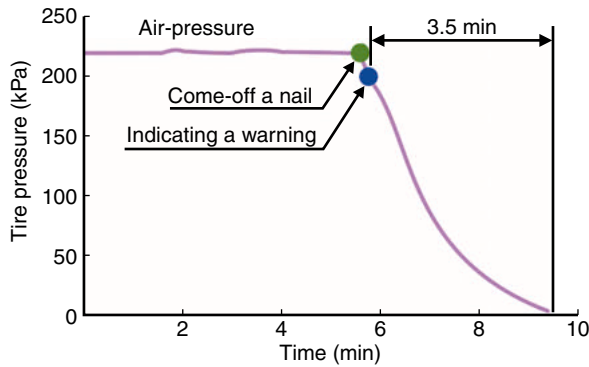


Fig. 7 Result of air leakage by drum test

また、このような空気漏れ時にライダーに早く知らせることが重要であるため、圧力測定間隔を 7.5 秒ごとに設定した。この例では釘が遠心力で抜けて空気圧モニタが警報を発してから、空気圧がゼロになるまで 3 分 30 秒あり、ライダーが適切な処置ができる可能性は大きくなる。

3.3. 温度補正による検出精度の向上

開発した空気圧モニタシステムでは空気漏れを空気圧変化によって判別しているの、精度を上げるためには温度変化による空気圧変動分を修正する必要がある。Fig. 8 は温度補正無しの空気圧の時間による変化を示している。このグラフが示すように、空気圧が低いほど温度が上昇しやすいことから、温度補正による修正が空気圧が低下すればするほど重要になってくると言える。Fig. 9 と Fig. 10 は、タイヤ内温度による実測空気圧の変化と温度補正後の補正圧力を示している。温度による補正圧力は次の実験式(1)を適用して求めた。

$$P = P_x - (T_x - 30) \quad (1)$$

P：補正圧力(kPa)

P_x：測定圧力(kPa)

T_x：測定温度(°C) (温度は 30°C 以上の場合)

空気漏れに対しては式(1)で検知できるが、この式では寒冷地においてタイヤ温度が低下したときに規定空気圧(冷間時の空気圧)の低下の判断を誤ることから 30°C より低い場合は温度補正を適用しないこととした。

3.4. 大気圧補正による検出精度の向上

タイヤ内規格空気圧は大気圧との相対圧とゲージ圧で規定されている。高度変化が起きると気圧差が生じタイヤ空気圧はエア漏れがなくても変化することになる。高度が 0m から 3000m に変化すると気圧はゲージ圧で 30kPa 減少する。この減少割合は規定圧 200kPa で 15% となり、検出精度への影響は大きい。一般的に空気圧調整はゲージ圧で行う。高地でタイヤ空気圧を調整した後に低地に下った場合は大気圧が高くなるためタイヤ空気圧不足となる。しかし、

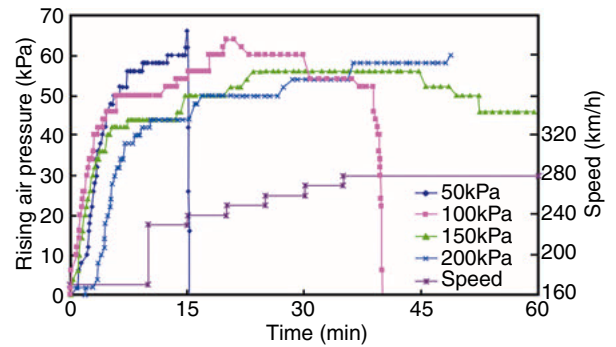


Fig. 8 Relation between air pressure rise and elapsed time during running

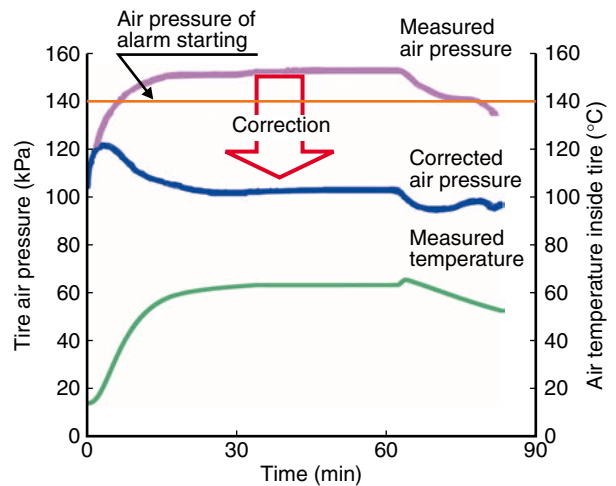


Fig. 9 Example of air temperature rise in tire

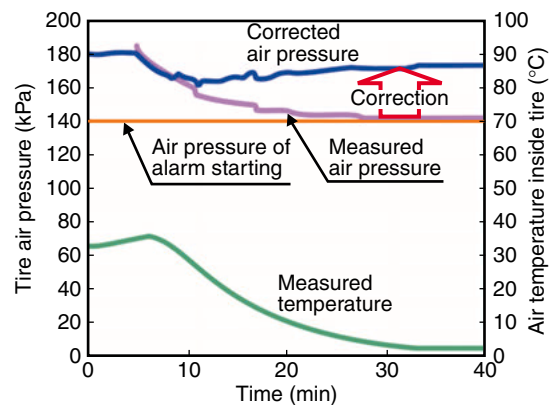


Fig. 10 Example of air temperature decline in tire

空気圧モニタで使用している圧力センサは絶対圧で測定しているので大気圧の差は測定できない。空気圧モニタシステムは、高地での空気圧調整のゲージ圧とセンサの絶対圧の差が大きくなると空気漏れや圧力不足を認識しない頻度が多くなると懸念される。平地で空気圧調整したタイヤは高地に行くと逆にゲージ圧としての空気圧が高くなる。逆に高地に住むユーザが低地に降りてきたときは圧力不足となる。大気圧補正をすることは高地と低地を行き来するときの空気圧警報の精度向上には有効となる。

4. システム構成

開発した空気圧モニタのシステム構成を Fig. 11 に示す。空気圧モニタは大きく分けて発信機、受信機、表示部の三つに分けられる。発信機はタイヤ内のホイールリムに装着する。これはフロントとリヤにそれぞれ取り付けられ、タイヤ内の圧力、温度を 7.5 秒間隔で測定しデータを電波信号として、異常が無いときは 6 分間隔で定期的送信する。しかし、空気圧の漏れが起きていると判断したときは、7.5 秒間隔で送信される。

受信機は、発信機からの電波を受信し、そのデータを分析しタイヤ空気圧や温度を表示部に送る。異常と判断したときは警報信号を表示部に送る。

表示部は、タイヤ状態をライダーに知らせる。異常時はライダーが気づかなければならないので、パネル表示とブザー音で効果的に警報を知らせるシステムとした。センサ付き発信機の取り付け配置を Fig. 12 に示す。

現在量産されている四輪車用の空気圧センサ発信機はバルブと一体のものが一般的である。しかし、二輪車の場合、ホイールリム形状が四輪車とは異なり、エアバルブの取り付け方向が違ふことなどからバルブと空気圧センサを分離した二輪車専用の取り付けを設定した。一般的にバルブの

取付け方向は、四輪車用ホイールでは横方向、二輪車用ホイールでは垂直方向に取り付ける。タイヤ内に設けたセンサ付き発信機はバルブ別体型とした。これは発信機の重量によりホイールのアンバランスが大きくなることを避ける目的でアンバランスをキャンセルできる任意の位置に取り付けることがねらいである。一般的にはタイヤの脱着を容易になる形状でバルブと反対側のリム内に取り付ける。これにより、ホイールバランス調整用ウェイトも軽くできる。発信機をホイールに取り付けた状態を Fig. 13 に示す。

センサ付き送信機は半導体式圧力センサと温度センサで構成されるセンサ部と、測定した圧力・温度データから圧力状態を判断しアンテナから発信する回路部と、電源のリチウムボタン電池で構成される。電波は日本向け四輪車のキーレスエントリシステムに使用されている周波数 315MHz の微弱電波を使用している。送信信号には発信機ごとに異なる ID を登録することで発信機の識別ができる。また、センサ付き発信機の耐久性は電子部品としては過酷な振動加速度や高温・多湿環境に対応できるポッディング処理をした回路と強度を上げた専用リチウム電池を採用している。センサ付き送信機の構成を Fig. 14 に、諸元を Table 1 に示す。受信機はキーレスエントリシステムと同様の機能・構成である。受信機の機能としては発信機からのタイヤ圧力

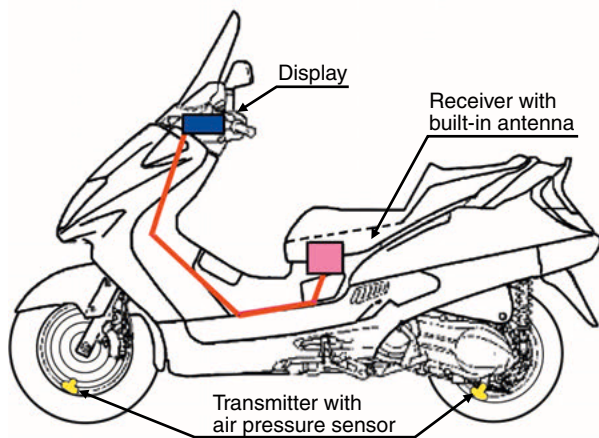


Fig. 11 Configuration of monitor system of tire air pressure

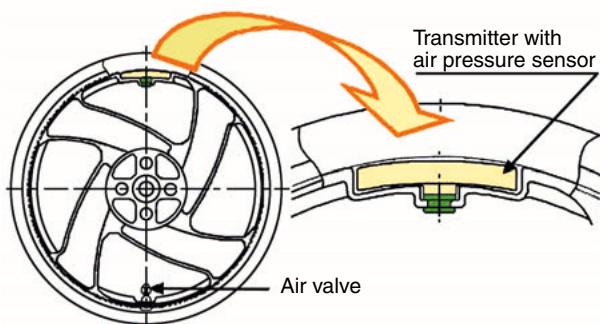


Fig. 12 Mounting location of transmitter with air pressure sensor

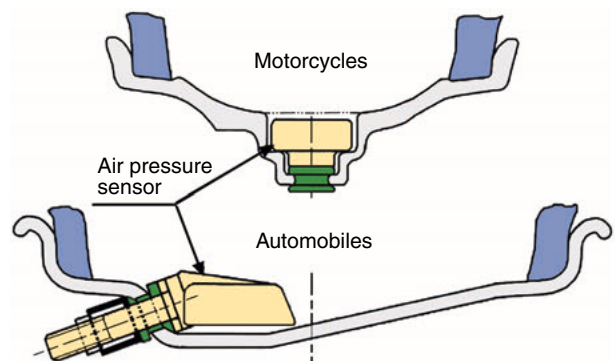


Fig. 13 Comparison of section shape motorcycle's wheel and automobile's wheel

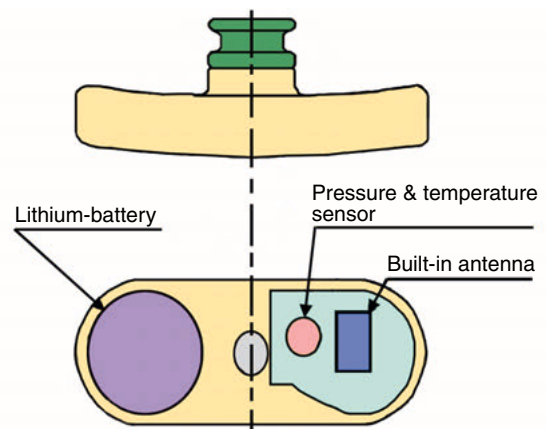


Fig. 14 Configuration of transmitter with air pressure sensor

データ、温度データを受信し空気漏れ判断や、圧力不足と異常高温の判断を行い表示部にデータを送る。受信機の構成を Fig. 15 に、諸元を Table 2 に示す。

Table 1 Specifications of transmitter with air pressure sensor

Items	Specifications
Mass	50 grams
Pressure sensing element	Semiconductor pressure sensor
Pressure sensing range	0 - 500 kPa
Pressure sensing accuracy	$\pm 2\%$
Temperature measuring range	$-40 \sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperature measuring accuracy	$\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$
Transmitting frequency	314.98 MHz
Modulation formula	FM modulation
Power supply	Coin shaped lithium battery

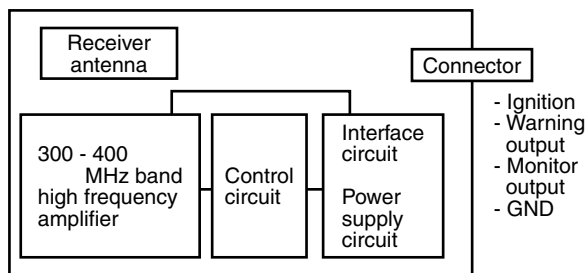


Fig. 15 Configuration of receiver

Table 2 Specifications of receiver

Items	Specifications
Receiving band	300 kHz
Receiving sensitivity	3 dB μ V
Mass	60 grams
Antenna	Built-in type
Power source	In-vehicle battery

5. 法規制およびシステムの差による電界強度の違い

日本、米国および欧州の送信機の電界強度は Fig. 16 に示すように、日本が最も厳しく、我々は 54dB μ V/m と弱電界強度で対応している。

また、既存の四輪車用欧米仕様は各送信機の近くにおおのアンテナを設けているのに対して、本システムは前輪および後輪の電波を受信するアンテナを1個の受信機の中に集約したので送信機との距離が長くなっている。そのため、更に受信電界強度が弱くなっている。本システムは送信機ごとに ID を設け FSK 方式の送信電波を用いている。また、受信機内蔵の単一アンテナとして弱電界強度でも送受信が確実にでき、国内法規に適合している。

6. 警報システム

6.1. 警報基準

アメリカ道路交通安全局(NHTSA)で提案された USA 四輪車に対する法規は、指定空気圧に対して - 25%または - 30%

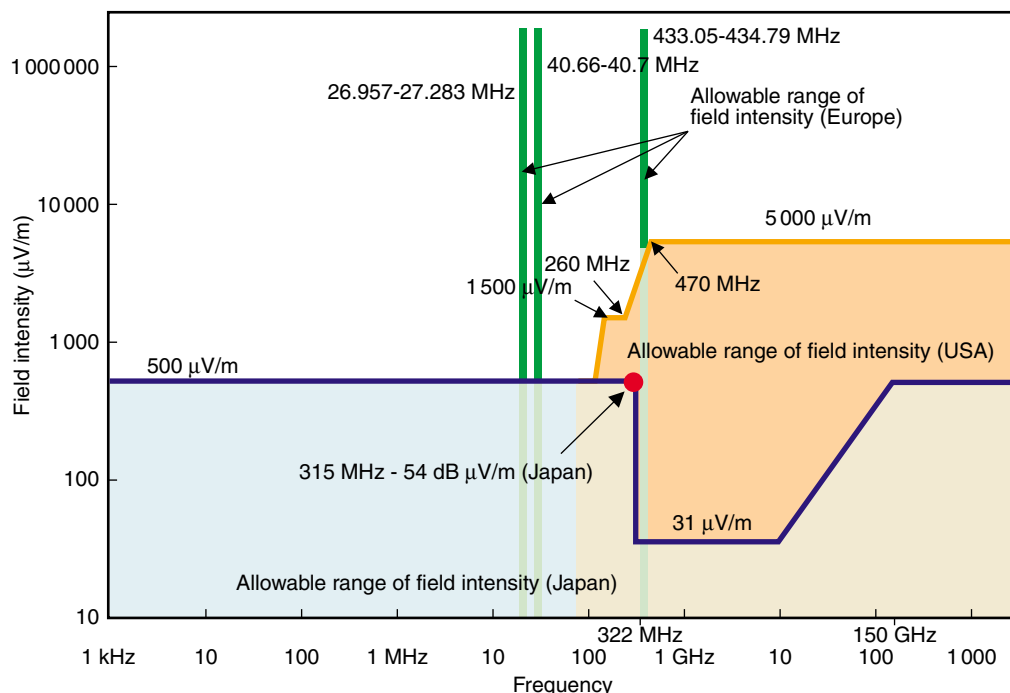


Fig. 16 Radio Laws in Japan, USA, and Europe

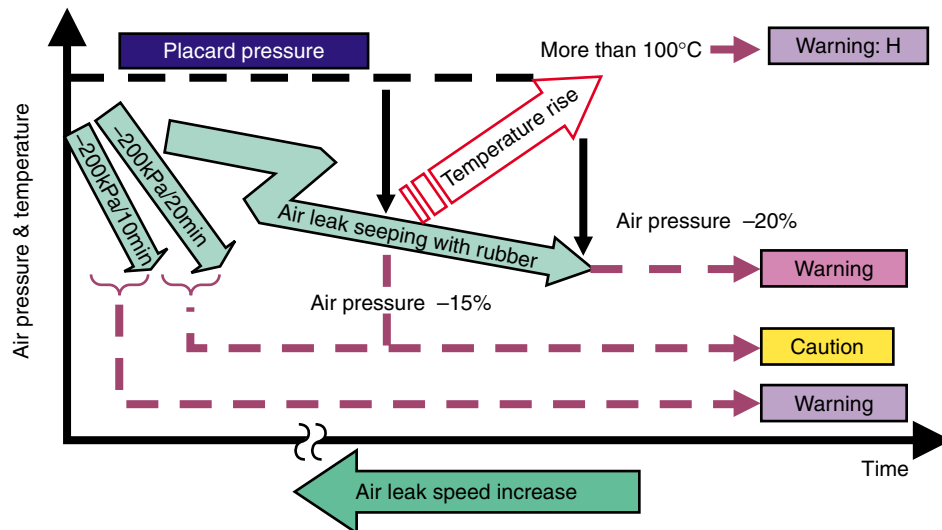


Fig. 17 Operation flow of alarm system

冷間時空気圧が低下したときに、警告することになっているが、本システムは、異常検知の設定を下記のようにした。

(1) 注意警報

- ・冷間時タイヤ空気圧が 20 分以内に 200kPa から 0kPa となる低下速度のとき
- ・冷間時タイヤ空気圧が指定空気圧の 15%低下のとき

(2) 警告警報

- ・冷間時タイヤ空気圧が 10 分以内に 200kPa から 0kPa となる低下速度のとき
- ・冷間時タイヤ空気圧が指定空気圧の 20%以上低下のとき
- ・タイヤ空気温度が 100℃以上のとき

開発した警報システムフローを Fig. 17 に示す。

6.2. ライダへの表示

表示方法はライダに異常を知らせる重要な要素であるが、頻度の少ない異常表示時に直ぐに対応するにはより分かりやすい表示が求められる。この異常検知に対応した表示は Fig. 18, 19 に示すように設定した。「警告」と「注意」の表示を行う場合は、確実に知らせるようにブザーも鳴らすこととした。ブザー音は「警告」と「注意」ではブザーを鳴らす間隔を変更し危険度が音でも認識できるようにした。

6.3. システム診断機能と警告

開発した空気圧モニタの信頼性を向上させるためにシステム故障の診断機能を設けた。システム故障個所の表示をすることでライダがシステム故障の判別を容易にし、タイヤ異常警告の信頼性の向上を図った。

システムがエラーしたときの表示を Table 3 に示す。

7. トリガ装置による電池寿命向上

空気圧モニタの発信機の電池寿命は、電池電圧が安定し

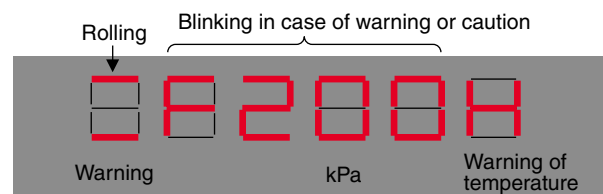


Fig. 18 Alarm indicator

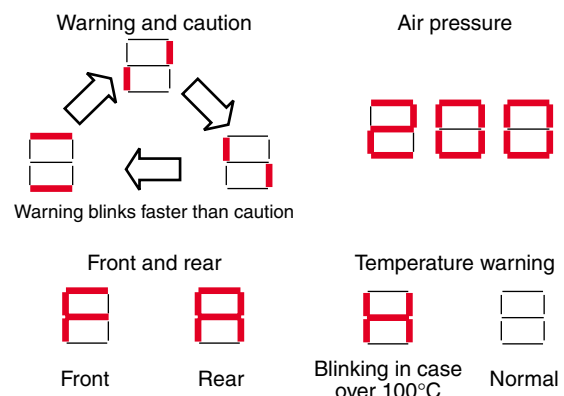


Fig. 19 Indication form

Table 3 Indication of system error

Failure modes	Indications
ID failure	FE00 or RE00
Status failure	FE01 or RE01
Receiver counter failure	FE02 or RE02
Receiver system failure	E03
Transmitter battery voltage failure	FBAT or RBAT

F: Front tire R: Rear tire

てデータを送れなくなる必要電圧以下となるまでである。その寿命を延ばすためにユーザが購入するまでは電池の消耗をしない状態にする必要がある。そこで外部トリガ装置で発信の ON/OFF をできるシステムとした。Table 4 は工場納入から配送までの流れの中で電波発信の ON/OFF の状態とトリガ装置の要不要をまとめたものである。また、タ

Table 4 Management for transmitting radiowave in physical distribution

		Manufacturer	Factory					Carrier	Dealer	
Process flow		Delivery	Assemble	ID registration	Inspection	Stoppage	Shipment	Distribution	Stock	Delivery
State of radiowave	Transmission ON	—	—	○	○	—	—	—	—	○
	Transmission OFF	○	○	—	—	○	○	○	○	—
Trigger device		Unrequired		Required			Unrequired			

イヤ空気圧を一時的に高圧にすることでも販売店での発信の ON 操作を可能にした。

8. 空気圧モニタシステムの効果

NHTSA のタイヤ空気圧モニタに関連する発表によれば、タイヤ空気圧が規定圧より下がっている場合の影響として、下記に示すように、安全性低下、磨耗寿命低下および燃費低下を挙げている。

(1) 安全性の低下

- ・ サイドウォール曲げ増加、タイヤ内温度上昇によりタイヤ故障となる
- ・ 横方向のトラクション減少によりハンドリング性能の悪化
- ・ ウェット路面での制動距離増加(Goodyear 社データ)

(2) 磨耗寿命低下

- ・ 1psi 低下ごとに 1.78% の磨耗寿命低下(Goodyear 社データ)

(3) 燃費低下

- ・ 走行抵抗増加による燃費悪化

1978 年レポート：空気圧 3.3% 低下ごとに 1 % の燃費低下
最新の Goodyear 社データ：空気圧 2.96% 低下ごとに 1 % の燃費低下

アメリカの空気圧モニタの装着義務付け法の目的は低圧状態での走行によるタイヤ故障防止である。

また、NHTSA によるとアメリカにおいて四輪車に「直接式」の空気圧モニタを装着することによって、年間 8 722 人の負傷者低減、124 人の死亡者低減の効果予測を発表している。このことから二輪車にも空気圧モニタを装着することにより負傷者および死亡者の低減効果の可能性を期待できる。

9. まとめ

今回開発した二輪車用空気圧モニタシステムは、タイヤ故障の予知・予防の機能やモニタ性能などを有した有効なシステムとして確立できた。

- (1) 温度補正によって圧力不足・空気漏れ判断の精度を向上し信頼性のある空気圧モニタシステムが開発できた。
- (2) 空気圧変化の測定時間を短くすることで、パンクなど

の急激な空気漏れに対応可能になった。

- (3) タイヤ温度監視も加えた二重の予知機能が実現できた。
- (4) バッテリーの電圧減や各機能故障時の異常診断機能による自己診断機能を実現できた。
- (5) 日本の電界強度の低い電波法を満足しつつ、別体アンテナを必要としない送受信システムが開発できた。
- (6) 送信機とタイヤバルブを別体構造にすることでホイールアンバランス量の抑制と従来と同等のタイヤ組付け性が実現できた。
- (7) センサ発信 ON/OFF 機能および発信間隔制御によって、電池寿命を 10 年にできた。

謝 辞

最後に、開発にあたり多大なご協力を頂いた太平洋工業(株)、(株)デンソー、(株)ブリジストンおよび井上ゴム工業(株)の皆様に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) U.S.DOT/NHTSA: Federal Motor Vehicle Safety Standards: Tire Pressure Monitoring Systems; Controls and Displays: Docket No.NHTSA 2000-8572-28 (2000)

■ 著 者 ■



織田 雅良



原田 智之



山際登志夫