穴が空いても自己修復するタイヤの開発*

長 屋 幸 助^{*1}, 井 開 重 男^{*1}
千 葉 学^{*2}, 超 旭 京^{*2}

Tire with Self-Repairing Mechanism

Kosuke NAGAYA^{*3}, Sigeo IKAI,
Manabu CHIBA and Xujing CHAO^{*3} Department of Mechanical Engineering, Gunma University,
1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu-shi, Gunma, 376-8515 Japan

A new-type tire is presented, in which there is no air leakage when nails break the tire. The broken part is repaired automatically by its self-repairing mechanism. The self-repairing unit is consisting of two rubber sheets with lattices inside. Polymer particles, which expand their volume with water, are kneaded by bond, and inserted in the lattices. The unit is pasted to the inside wall of the tire. Coolant fluid diluted with water is inserted in the polymers uniformly. In this system, the polymer particles expand with water diluted coolant fluid, and become gel. Hence, they stop air leakages in the tire. Fundamental experiments are performed, and optimum conditions are found. This technique is also applied to real tires.

Key Words: Tire, Self Repairing, Non-air Leakage, Polymer

1. 緒 論

パンクレスタイヤについては、車の安全性の観点から古くから開発が行われさまざまな方式のものが考えられている。古くには、タイヤの中に弾性のある柔らかいゴム・ウレタンなどを充てんする方法が主流であったが、路面からの振動伝達率が大きく、乗り心地と操縦安定性が悪く、高速走行ができないという欠点があった。すなわち、タイヤ内に空気を入れる方法が、乗り心地の面からも操縦安定性の面からももっとも良いとされている。近年、空気を入れたタイヤに対して、空気圧を自動的に測定し、送信するシステム⁽¹⁾、タイヤの圧力が安全な数値以下にならないように、空気を送り続ける装置を取付ける方法⁽²⁾など、安全性をメンテナンスで保持する方法が提案されている。また、二輪車ではあるが、チューブのトレッドとショルダ部分を空気室と液室の二重構造とし、特殊なパンク防止液を液室に製造段階で封入する構造のものも提案されている⁽³⁾。しかし、この構造でも、サイド部に空いた穴

あるいはタイヤを貫通するほど長いくぎが刺さった場合は、パンクとなる。二輪車については、さらに二重構造のチューブ⁽⁴⁾も提案されているが、いずれもある程度パンクの速度を遅くすることはできるが、完全に空気漏れを止めるものではない。そこで、パンクによる空気漏れは仕方がないという発想に立ち、空気漏れを起こしてもある程度の距離走行できるランフラットタイヤも開発された。このタイヤはタイヤとリムの間に特殊なメタルリングの装着、タイヤ側面の補強などをし、空気が抜けてしまっても車の重量を支えられるようにしたもので、パンクが起こったあとでも最大200 kmの走行を可能としている。しかし、この方法でもある程度走行後はパンク修理が必要であり、またメタルリングの使用、ゴムの補強でタイヤの重量が増すので、その分エネルギーロスがあり、乗り心地が悪くなるという欠点がある。

上記のように、現在のタイヤ技術はタイヤの空気漏れはあるので、パンクした場合、空気の漏れをゆっくりとし、ある程度の距離走行できるという観点から盛んに研究が行われている。しかし、もし、パンクしても即座にパンク穴を自己修復することができれば、パンク修理も必要ないし、また自己修復するシステムが軽い弾性に富む材料でできていれば、エネルギーロス

* 原稿受付 2003年7月24日。

^{*1} 正員、群馬大学工学部(☎376 8515 桐生市天神町1 5-1)。^{*2} 群馬大学大学院(☎376 8515 桐生市天神町1 5-1)。

E-mail: nagaya@me.gunma-u.ac.jp

も小さく、乗り心地もほとんど通常のタイヤと変わらなくできるが、このような観点からの研究は全くなされてない。

本研究では、パンクしてもパンク穴を即座に自己修復するパンクレスタイヤを新たに開発するものである。すなわち、本研究で開発したタイヤについて、その原理を明らかにして基礎的な条件を検討し、最適な条件を求めるとともに、実際に本開発のパンクレスタイヤを作りその性能試験を行った。その結果、上記のランフラットタイヤよりはるかに優れていることを明らかにした。

2. 本パンクレスタイヤの構造と自己修復の原理

本研究で開発したパンクレスタイヤの構造は図1に示すようなもので、通常のタイヤの内部に吸水パットとそれに接着したゴムシートがタイヤ内面に積層されて接着される。吸水パットは図2に示されるように2枚のゴムシートの上に接着剤で練られた粉末状の吸水

Fig. 1 Structure of the developed tire

Fig. 2 Cross section of the tire with self repairing putt

ポリマがサンドイッチされており、適当な間隔で格子状に上下面を縫い合わせてある(縫い目部分については、次報で検討することとし、今回は考えない)。この中に水を注入すると、内部の吸水ポリマが半固体のゲル状になり膨脹する。このとき、吸水ポリマは格子内に閉じこめられているので、格子内部に膨潤圧が発生する。またタイヤ内部の空気圧で吸水パットの表面が圧縮される。この状態で、タイヤ外側からくぎを刺すと、くぎの太さ分だけゲル化した吸水ポリマが押しつけられるが、くぎを抜いた瞬間に穴がゴムの弾性で小さくなり、最終的に空けられた穴も膨潤圧とタイヤ内空気圧 q がゲル化した吸水ポリマに作用して瞬時に塞ぐ(図3参照)。このとき、吸水ポリマ内に穴がなく、膨潤圧とタイヤ内圧の和がタイヤ内圧より大きければ空気は漏れないことになる。

しかし、空気漏れを防ぐのは漏水を止めるより難しく、下記に示すようにいくつかの課題がある。

吸水ポリマは粉末であるが、水を吸収すると半固体のゲル状になり、形を変えて互いに接触してすきまを塞ぐ。しかし、これに高压の空気が流入すると、ポリマが押しつけられて空気の流路が形成され、空気漏れが起こる。そこで、吸水ポリマを適量の接着剤で練り、ゲル化したポリマの動きを固定する。これはまた、自

Fig. 3 Principle of self repairing

動車が急加速・急減速したときにポリマが偏らないための有効な手段ともなる。このとき、接着剤で練られゲル化したポリマはブチルゴムのように、流動変形性はあるが、接着力のある半固体状のゲルとなっているので、くぎにより空けられた程度の穴から吸水ポリマが外部へ漏れだすことはない。また接着剤は空気に触れると硬化するので、穴から侵入した空気により接着剤が固められ穴を永久に塞ぐ。接着剤については、後述する熱に対しても安定であることが求められるが、本実験では、通常のゴムのりを用いる。ゴムのりは空気に触れなければ硬化せず、かつ硬化速度が遅いので、穴の修復までの短い時間に硬化せず、穴修復後に硬化が始まり、ゴム製のタイヤにもよく接着するので、本タイヤの接着剤としては適当である。またクーラントとゴムのりを混合した状態では、長期間放置しても特性の変化がほとんどないようで、3年間放置した後も後述するような特性を保持していることを確認している。接着剤を入れた場合、吸水ポリマの表面が接着剤でコーティングされるので、吸水性が悪くなる。すなわち吸水ポリマの膨潤度が落ちる。したがって、接着剤の量については、ポリマを固定でき、かつ膨潤性をあまり損なわない吸水ポリマと接着剤の適当な比率が存在する。

自動車はかなり暑いところと寒いところで使用される。また、走行中のタイヤ内温度はかなり上昇する。したがって、ここで用いる吸水ポリマについては、使用中の温度に対して安定であり、かつ耐久性が要求される。本研究では、このことを考慮し吸水ポリマとして、サンフレッシュ ST 500 D(三洋化成)を用いる。この吸水ポリマの粒径は150~710 μm で、自重の400倍の吸水性能があり、温度の影響をほとんど受けず、PH 4~10の範囲で安定である。ただし、紫外線で分解し、温度が150°C以上で放置すると、吸水性能が減少する。タイヤ使用中の最大温度は90°C程度であり、吸水パットをタイヤ内部に配置し、紫外線を遮断することで、本吸水ポリマを用いることができる。一方、

Fig. 4 System of pre-experimental equipment

吸水ブロックに注入される水は+90°C~−40°Cで蒸発、凍結しないことが必要であり、通常の水は使用できない。そこで、本研究では、蒸発が極めて少なく、かつ凍結しないクーラント液を水の代わりに用いる。用いたクーラント液は、通常のラジエタ冷却用のもので、エチレングリコールが95 wt.%に防さび材と消泡材の混入したものである。クーラント液を水で60%程度までに薄めても上記の温度でほとんど蒸発と凍結はない。クーラント液を用いた場合、水より当然のことながら吸水ポリマの膨潤度は落ちるが、それでも相当にポリマを膨脹させることができる。ポリマに対するクーラント(水で薄めたクーラント)の量も重要であり、クーラントの量が少なければ、吸水ポリマのゲル化が不完全で、吸水パットの格子内部で大きな膨潤圧が得られない。また、多すぎればゲルが水状になり、空気を通してしまう。したがって、ポリマとクーラントの比率にも適当な値が存在する。

一方、ポリマの厚さ、すなわち、単位面積当たりの吸水ポリマの量が多ければ多いほど空気漏れを防ぐ効果は大きくなるが、その分タイヤの価格は高くなり、加えてタイヤ重量も増大する。したがって、ポリマの量は少ないほうが良いが、その限界を調べる必要がある。

以下、上記のような問題点を実験により調べ、タイヤからの空気漏えいを遮断する良好な条件を探索する。

3. 実験装置

図4は実験装置の図を示したものである。図中①は実験装置本体であり、アルミニウム製の円筒に穴が掘られており、一端(左端)に試験片を入れる円形の段が掘られている。その段の中に試験片②が入れられる。その試験片の上にはふた③が被さりボルト④でふたを本体に締付けて結合する。ふたの中心には直径8 mmの穴が空けられている。本体の他端にはホース⑤が結合されており、ホースの中間に圧力計⑥と二つのコック⑦⑧が取り付けられている。

図4でコック⑦と⑧を開放し、パイプ⑤の右端よりコンプレッサで空気を入れ、コック⑧を閉じると、本体①内の空気圧が圧力計⑥に表示される。

図5は試験片の構造を分解して示したものである。この構成は図1、2の配置と基本的に同じであり、ベースとなる厚さ2 mmのゴム製円板⑨(タイヤ表面層)の上に順次ゴム製リング⑩(パットの側壁で、試験器からの空気漏れを防ぐ)、接着剤で練られた吸水ポリマ⑪、厚さ1 mmのゴム製円板⑫が接着され、一つの

円板となる(これが図1, 2の吸水パットに相当する)。この円板を作った後に, 注射器で吸水ポリマ層⑩に水で薄めたクーラント液をまんべんなく注入し, 厚さ1 mmのゴム製円板⑬(図1, 2の内面ラバーに相当)を接着し, 注射針でできた穴を塞ぐ。なお, ここで用いる接着剤は, 市販のもので, ゴム(揮発)が73.5 wt.%, ノルマルヘキサゴンが20 wt.%, 天然ゴムほかが6.5 wt.%のもので, 吸水ポリマの吸水性能を残しつつ, 吸水ポリマどうしを接着させる性質がある。

図5でコック⑦と⑧を開放し, パイプ⑤の右端より空気を入れ, コック⑧を閉じると, 本体①内の空気圧が圧力計⑥に表示される。この状態で, ふた③に空けられた穴からくぎを, 試験片を貫通するまで差し込んでから引抜き, その後の空気圧の変化を圧力計で調べる。

4. 実験結果

実験には, 直径3.4 mm, 4.2 mm, 5.25 mmのくぎ, および6 mmのポンチの5種類の穴空け具(以下すべてをくぎと総称する)を用意し, これらで試験片に穴を開けて空気の漏えいを調べる。

本方法で, ポリマに膨潤液を注入する量が多いほど, 膨潤圧が大きくなるが, 膨潤液の量が多くなるとゲルが柔らかくなり空気の流入によりゲルが押しのけられやすくなる。この動きを止めるためにゴムのりをポリマに混入するが, このとき, 同じ接着度に対し, 水の量が多くなるほど接着剤の量も多くしなければならない。しかし, 接着剤が多くなると, ポリマの吸水性が悪くなるという関係がある。したがって, ポリマの量に対し, 膨潤液量とゴムのりの量に適当な比率が存在すると思われる。そこで, まずポリマ層の厚さを6 mm(面密度=0.407 g/cm²)とし, 0.25 MPaの空気圧を与え, 直径3.4 mmのくぎを貫通させその後引抜いた。5時間経過後の試験容器内の圧力と接着剤の量 p

の関係を図6に示す。ここに, p は吸水ポリマに対する接着剤の重量%, 同じく w は膨潤液(クーラント50%, 水50%; 以下単に水とも称する)の%である。容器内に与えた空気圧が0.25 MPaであるので, 図中0.25 MPaの値を示しているものは, 5時間経過後も空気漏れが全くなかったことを意味している。それより小さい値の場合は, 空気漏れを起こしていることになる。

図6から接着剤の量が20%, 水の量が60%および80%のときは全く空気漏れがないことがわかる。さらに, 接着剤の量が30%, 水の量が80%のときも空気漏れがないことがわかる。これにより本方法で空気漏れを防ぐことができるということがわかったが, ポリマの厚さが6 mmと厚い欠点がある。そこで, 以下, 空気漏れのないことがわかった上記の3条件について, ポリマの厚さを薄くして詳しく実験を行った。

図7~9は吸水ポリマ層の厚さが4 mm(面密度: 0.25 g/cm²)のときの試験器本体内圧力の時刻(単位: h)変動を示したものである。ここに, d [mm]は試験片を貫通させるときのくぎの太さ(直径)である。また, 図7~9において, 試験器本体に入れる空気の初期圧力は, 乗用車のタイヤを考慮し, 0.25 MPaとしてある。

はじめに, 図6で空気漏れのなかったときの条件($p=20\%$, $w=80\%$)について, くぎの太さの及ぼす条件を調べた。図7にその結果を示す。図7で $d=3.2$ mm, $d=4.2$ mmでは, 2時間までは減圧したがその後の減圧はなく, $d=5.25$ mmと $d=6$ mmのときの圧力は急減したが, その後自己修復することがわかった。

くぎの直径6 mmの空気漏れが大きかったので, 接着剤の量を増やし, $p=30\%$, $w=80\%$ の条件で同様の

Fig. 5 Test piece used in the experiment

Fig. 6 Pressure versus weight percent of paste for 6 mm thickness test piece ($h=6$ mm)

実験を行った(図8)。このとき、くぎの直径6 mmの場合のみ、引抜いた瞬間にわずかな空気漏れが認められた。しかし、空気漏れによる圧力変動はわずかに2%程度である。

水分を減らせば、接着剤の効果が増し、タイヤ重量の減量と見込めると考え、 $p=20\%$ 、 $w=60\%$ 、 $d=6$ mmの条件で実験を行った。結果を図9に示す。ここには、図7、8の結果も併せて示した。これより設定した3条件の中で、 $p=30\%$ 、 $w=80\%$ の条件が最も優れていることがわかる。なお、図8、9で時間が零の点に二つのデータがあるのは、修復までの時間が短いためにデータが同じ軸に重なったものである。このとき、自己修復にかかる時間はくぎの直径が大きくなると大きくなるが、数秒から数十秒である。

Fig. 7 Pressure versus time for various sizes of nails

Fig. 8 Pressure versus time for various sizes of nail

以上より吸水ポリマの厚さが4 mmでも空気漏れを止めることができたので、吸水ポリマの厚さが2 mm(面密度: 0.125 g/cm^2)の場合についても検討してみた。図10はポリマの厚みが4 mm(実線)のときと、2 mmのとき(破線)について、くぎを引抜き、5時間経過後の空気圧とくぎの直径の関係を示したものである。

この場合も接着剤の量が30%、水の量が80%のときが良好で、くぎの太さが4.2 mm以下であれば、くぎを抜いた瞬間に空気漏れが少し起こるが、その後は穴を自己修復し、空気漏れを起こさないことがわかる。しかし、それ以上くぎ径が大きくなると、空気圧が零になるまで空気が抜けており、実際のタイヤに適用するには危険な領域である。

以上より、吸水ポリマの厚さは4 mm(面密度:

Fig. 9 Pressure versus time for various volumes of water

Fig. 10 Pressures versus nail diameters after five hours

0.25 g/cm³)が適当といえる。

本研究では、吸水ポリマを用いたタイヤのパンクレス化が可能であることを示した基礎実験であり、実用化に対しては解決しなければならないいくつかの問題がある。その一つが、縫い目にくぎが刺さった場合の問題である。縫い目が拡大したとしても、その程度の穴から空気漏れはないが、縫い目部分は縫製時の圧力で吸水ポリマが逃げるため、薄くなり、その部分の吸水ポリマが少なくなる。そのため、縫い目にくぎが刺さったときの空気漏えい遮断効果が小さくなる。したがって、ネットを入れて縫い目厚を確保するなどの

縫い目厚確保の方法が必要であり、また、膨潤液混入後の格子の凹凸は走行安定性を損なうので、一様な厚さとする方法を確立する必要がある。

5. パンクレスタイヤの試作とその性能試験

5・1 静的試験 以上の基礎実験より、本研究で提案した方法でパンクレスタイヤが可能との見通しができた。そこで、実際にパンクレスタイヤを試作してみた。図 11 はタイヤの一部を本方法により、パンクレス化する順序を示したものである。

パンクレスの部分を作る工程は、まず、長方形穴が空いたゴム板(厚さ 4 mm)を薄いゴムシート(厚さ 1 mm)に貼り付け、中にゴムのり 30%を混ぜた吸水ポリマを入れて、ゴムシート(厚さ 1 mm)を被せて接着し、図 11(a)のような正方形の格子に縫った吸水パットを作成する。市販タイヤの内面は平らではないので、直接内面に上記吸水パットを貼り付けても、吸水パットとタイヤ内面から空気漏れが起こるので、タイヤの内面に厚さ 1 mm のブチルゴムシートを貼り付けて[図 11(b)]タイヤ内面の凹凸を吸収する。その上に製作した吸水パットを貼り付ける。続いて、吸水パットの中に水で希釈したクラーント液を注射器でまんべんなく注入し[図 10(c)], その上に薄いゴムシート(厚さ 1 mm)を接着する。このタイヤをホイールに取付け、所定の圧力の空気を入れる。空気圧を観測するため、空気挿入口に圧力計の取付けられたホースを取付ける。

実験では、パンクレスの施されていない通常のタイヤと、上記のパンクレスの措置を施した 2 種類のタイヤを使用した。その実験結果を図 12 に示す。

まず、パンクレスの施していない通常のタイヤに 0.25 MPa の空気を入れ、直径 3.4 mm のくぎを貫通させ引抜いた後の圧力を測定したところ、わずか 18 分で空気が抜け、圧力が零となることがわかった(図 12 の白丸印)。次いで、初期圧力を 0.25 MPa とし、直径 5.25 mm のくぎで本パンクレスタイヤの吸水パットの部分に穴を開けたときの結果を求めたところ 500 分まではメータに現れるような空気漏れはなかった。そこで、日単位の計測を行った。その結果を図 12 右に示す。この図より 30 日間放置して 10%程度の圧力低下が認められる。

一方、トラックタイヤについては、0.4 MPa 程度のタイヤ圧となるので、0.4 MPa のときの結果も求めた。図中白三角印はくぎの直径が 6 mm のときの結果を表す。このときは、1 回で穴を開けるのは難しか

Fig. 11 Sequence of making non-puncture tire

ったので、まず直径 3.4 mm で下穴を開け、そのあと直径 6 mm のくぎを貫通させ引抜いた。この場合、残念ながら約 500 分で空気が抜けてしまっている。そこで、限界を知るため、直径 4.2 mm のくぎで穴を開け(1 回で穴を開けた)、引抜いた結果を求めた。図中の黒丸印がその結果である。この場合は、500 分経過後で空気漏れはなく、30 日間では約 9% の圧力低下が認められる。

以上のように非常に長い期間でほんのわずかではあるが圧力低下が認められるが、このタイヤの自己修復の完了したパンクの穴に洗剤をたらして空気漏れを検定した限りでは、全く空気漏れは観察されない。したがって、この圧力低下がパンクの穴によるものか、それとも圧力計の取付部から漏れているものなのかの検定はできなかった。

5.2 実装試験(動的試験) 上記の試験はタイヤに穴を開けてそのまま放置したもので、走行中に種々の荷重を受ける実際のタイヤとは条件が異なる。そこで実際に、自動車の一輪だけに、直径 3.4 mm のくぎで穴を開けた本パンクレスタイヤを装着し、走行試験を行った。この場合は、パンクレス化する部分の質量分がアンバランスとなるので、パンクレス化した部分をタイヤ直径上の一直線上(0 と 180° の線上)に 2 箇所作り、回転のアンバランスができないようにした。

図 13 は走行試験の結果である。図 13 で左縦軸はタイヤ圧を、右縦軸は自動車の走行距離を表し、横軸はパンク穴を開けてからの経過日数である。図中実線が本パンクレスタイヤの結果を示し、点線はパンク穴を開けていない通常のタイヤの圧力変動を表す(ただし、計測は実験開始時と 100 日経過後の 2 回の点を結んでいる)。まず、通常のタイヤでも 100 日走行で 0.01 MPa 程度の自然な圧力低下がある。一方本パンクレスタイヤで 3.4 mm 直径のくぎを突き刺し、抜いた後の圧力変動は 60 日走行で約 0.025 MPa 程度であり、

自然に起こる空気漏れの分を差引くと、0.015 MPa である。この圧力低下はゲージを当てて圧力を計測するとき、どうしても空気漏れがあるために起こったものと推定される。その理由は計測の回数とともに圧力は低下しているが、60 日から 100 日までの間に計測を行わずに放置した場合は低圧低下がほとんど認められないことからわかる。なお、微小な圧力変動は外気温の変動によるものと考えられる。図 13 をみたり、空気漏れはほとんどなく、パンク穴は完全に修復しているといえる。

これまでのパンクレスタイヤで最も性能の良いランフラットタイヤの場合では、パンクが起こってからの限界走行距離は 200 km である(そのときの穴径と経過時間は明らかにされていない)。本提案のパンクレスタイヤは、100 日間、約 3000 km の走行でも空気漏れは発生しておらず、はるかにその性能を超えていることがわかる。

なお、本実験では、タイヤの一部にパンクレス化を施したもので、吸水ポリマのない部分は当然のことながら、自己修復機能は存在しない。したがって、実際のタイヤでは、図 2 のようにタイヤ内面全周に吸水パットを貼り付けなければならない。また、タイヤにくぎが刺さり、抜け落ちないでタイヤに刺さったままのときは、くぎが抜け落ちたときよりも安全で、空気漏れが起きないことを確認している。さらに、走行中にくぎ穴が拡大されることも考えられるが、くぎ穴が拡大されたとき、タイヤとくぎの間の摩擦力が小さくなり、くぎは遠心力により抜け落ち、くぎ穴が極端に大きくなることはないと思われる。

6. 結 言

本研究は、これまでにない原理に基づくパンクレスタイヤを新たに開発したものである。すなわち、吸水ポリマの膨潤圧により空気漏れを防止する方法を提案

Fig. 12 Pressure versus time for the non-puncture tire

Fig. 13 The result of a mounting examination

した。その基礎実験を行い、また実際にパンクレスタイヤを製作してその性能試験を行ったものである。結果を列記すると次のようである。

(1) 本開発のパンクレスタイヤは、吸水ポリマに対する接着剤の比率および水の比率が重要であるが、実験条件の中で良好であったものは接着剤の重量%が30%、膨潤液の重量%が80%のときである。

(2) 吸水ポリマの厚さは厚ければ厚いほど良いが、通常の乗用車およびトラックタイヤでは、経済的な面と走行安定性の面から考えて4 mm(0.25 g/cm²)厚程度が適当と思われる。

(3) 以上の条件のもとで実際にタイヤを作ったところ、タイヤ圧が0.4 MPa(トラック用)のときは直径4.2 mmのくぎで穴を空けて引抜いても空気漏れはなく、また、タイヤ圧が0.25 MPa(一般乗用車用)のときは、直径5.25 mmのくぎで穴を空けて引抜いても空気漏れはない。

(4) 実際に、車に本タイヤを装着し、直径3.4 mmのくぎで穴を空けて走行実験を行ったところ、100日間(走行距離約3 000 km)でも空気漏れがなかった。

文 献

- (1) Grossmann, R., Quartz Crystals as Remote Sensors for Tire Pressure, *Conf. IEEE Instrummeas. Technol. Conf.*, **16-3** (1999), 1745-1749.
- (2) Bradley, J., Eckhardt, L. and Soznala, F., Design of Emergency Tire Inflation System for Long-Haul Trucks, *SAE Tech. Pap. Ser. (Soc. Automot. Eng.)*, SAE-95. 2592 (1995), 4.
- (3) 山際登志夫・中山研吾・清田悟・田中明子・横坂昇, 二輪車のパンク性向上チューブの開発, 自動車技術会講演会前刷集, No. 976 (1997 10), 279-282.
- (4) ホンダの2輪技術 新しい防止液の効果, タフアップチューブでパンク率が激減, 自動車と整備, **51-1** (1997), 40-41.