図 15 テニスラケットの寿命予測

- 5) N. Harwood & W.M. Cammings : *Proc. of IMAC V* (1987), pp. 399-405.
- 6) D. Oliver : *Proc. of IMAC VI* (1988), pp. 629-638.
- 7) D. Kung, G. Qi, J. Yang & N.E. Bedewi : *Proc. of IMAC VI* (1988), pp. 350-356.
- 8) R. Snoeys, P. Sas, W. Heylen & H. Vander Auwerear : *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 1, No. 1, Academic Press, London (1987).
- 9) R. Snoeys, et al. : *Proc. of 10th International Seminar on Modal Analysis*, Part III, KULeuven (1985).

解 説

新交通システム用タイヤについて

平 山 清 一*

ついて紹介する。

1. はじめに

大都市圏における自動車交通の飽和状態がもたらす交通渋滞や大気汚染等の交通公害が社会問題化して、かなりの期間が経過した。その後、個別の問題については改善対策が実施されているが、自動車の総量は増加の一途を辿っているため、これらの問題は現在でもますます大きくなりつつある。

自動車交通に対する個別の改善対策とは別に、都市における交通問題の根本的な解決方法の探索も試みられてきた。いくつかの具体案についての試行錯誤を繰り返した後、現代の都市交通に適した姿として、「新交通システム」が考案され日本でも普及しはじめている。

新交通システムにはその機能上、ゴムタイヤの使用が不可欠であり、新交通システムに適した高負荷能力をもち安全性の高い空気タイヤが開発された。ここでは現在の新交通システムとそこで使用されている空気タイヤに

2. 新交通システムとは

交通機関の役割は人や物を目的地まで運ぶことにあ。この観点から見れば、交通機関には効率よく人や物を運ぶことが要求され、これを「輸送能力」という尺度で計っている。たとえば、人を輸送する交通機関における輸送能力は1路線当り、1時間当りの輸送可能人数で表わされる。電車や船舶は約4~5万人/時もの輸送能力をもち、これらを大量輸送機関と呼んでいる。

一方、交通機関を利用する側から見ると、交通機関とは目的地までドアツードアにて運んでもらえることが最も望ましいものであるが、この典型的な例が乗用車である。乗用車の輸送能力は、適正な車間距離をとって道路上に稠密に走行した場合でも、5,000人/時程度と低いものであるが、利用者のニーズにぴったり合致した交通機関である上に、乗用車を運転する楽しさ、自由さという人間性を発揮する道具としての価値も認識され近年爆発的に普及してきた。

* Seiichi HIRAYAMA : 横浜ゴム(株)タイヤ設計研究開発室 (254 平塚市追分 2-1)

しかしながら、自動車が普及するに従って周知のごとく、交通渋滞、騒音公害、排気ガスによる大気汚染、交通事故の多発、ガソリンの大量消費といった社会問題がクローズアップされてきた。これらの問題に対して、道路の整備、低騒音自動車・クリーンエンジンの開発等の技術上および法制上の対応がなされてはいるが、改善の速度よりも自動車総量の増加の速度のほうが早く、これらの社会問題は現在でもますます深刻となりつつある。

都市における交通に関する社会問題に最初に直面したのは1960年代の米国であり、やがて日本にも波及することとなった。米国では、交通問題を個別に解決するばかりではなく、これらの問題を根本的に解決するためには都市圏における交通機関はどうあらねばならないかという理想像の探索が行なわれ、いくつかの提案が出された²⁾。「動く歩道」、デマンドバス（呼び出し式バス）、ガイドウェイバス（専用軌道を走行するバス）、PRT (personal rapid transit, 専用軌道を走行する無人運転タクシー) 等がその例であり、これらを広い意味で新交通システムと呼ぶ。

将来の都市交通を担うシステムとしては、十分な輸送能力をもち、安全性、無公害性、定時性、輸送コスト、建設コスト、省エネルギー、快適性、都市の景観とのマッチングといった多方面から来る要求にも適合しなければならない。新交通システムに関する多くの提案を総合的に検討した結果、現代の日本の都市交通に最も適合するシステムとして「ガイドウェイシステム」が有効であるという認識が強まり、徐々に実用化が開始されている。「ガイドウェイシステム」のことを狭い意味で「新交通システム」と呼んでいる。

この新交通システムは、市街地の高架の専用軌道をゴムタイヤを装着し、コンピュータコントロールによりガイドウェイに沿って自動運転走行することが特徴である。交通渋滞の激しい都市空間において新交通システム

の重要使命である定時性を確保するためには専用軌道を走行するよりはかに解決策はなく、既存の都市空間に専用軌道を設けるには、地下道よりは建設コストの安い高架道が選択されているのである。また住宅密集地の近くを、小まわりをきかせた頻繁な加減速のくりかえし走行を行なうためには、騒音が低く、路面との摩擦係数の高いゴムタイヤの使用が不可欠となってくるのである。

表1に現在までに実用化された新交通システムおよび現在計画中のシステムを示す。これらのシステムの輸送能力は約1万人/時程度であり、従来の鉄道と自動車の中間程度の能力である。

なお、モノレールは新しい交通システムとはいえないが、その目的や機能が新交通システムと類似しており、広い意味の新交通システムとして有用性が再認識されている。

建設省と運輸省では新交通システムの普及促進を図るため、車両とインフラストラクチャ（軌道設備等）について標準仕様を定めている。標準仕様によれば車両定員

図1 新交通システム²⁾

図2 ガイド機構²⁾

表 1 新交通システムの概要³⁾

路線名	営業運転中					建設中		
	ポートアイランド線	南港ポートタウン線	ユーカリが丘線	伊奈線	山口線	金沢シーサイドライン	六甲アイランド線	桃花台線
区間	三宮～ポートアイランド	住之江公園～南港ポートタウン	ユーカリが丘～ニュータウン	大宮～羽貫	西武遊園地～西武球場	新杉田～金沢八景	住吉～六甲アイランド	小牧～桃花台ニュータウン
路線長 (km)	6.4	6.6	4.1	11.6	2.8	10.8	4.5	7.4
駅数	9	8	6	12	3	14	6	7
一編成車両数	6	4	3	4.6	4	5	4	4
車両定員 (人)	75	75	75	64	80	75	75	72
最高速度 (km/h)	60	55	50	60	50	60	60	55
最大勾配 (%)	5.0	2.5	4.5	5.9	5.0	4.0	5.8	6.0
最小曲率半径 (m)	30	70	40	25	60	30	60	100
開業年月	昭56・2	昭56・3	昭57・11	昭58・12	昭60・4	昭64予定	昭64予定	昭66予定

なお上表の他、広島新交通システム (12.8 km)、東京臨海新交通システム (9.5 km) の建設が計画されている。

は 75 人程度、車両総重量 18 トン以下の都市バスを一回り大きくした車両を連結運行するシステムとなっている。

3. 新交通システム用タイヤ

3.1 耐負荷能力

新交通システムに使用されるタイヤに要求される性能はまず第一に耐負荷能力である。新交通システムは既存の市街地に専用的高架線を敷設する都合上、スペース的な制約と経済的な理由のためにできるだけコンパクトに設計しなければならない。一方、輸送能力を高めるためには車両定員は多くしておく必要があり、新交通システム用タイヤには、一般のトラック、バス用タイヤに比べ、タイヤの大きさの割には大負荷能力をもつことが要求される。

空気タイヤの負荷能力は一般に次式で表わされる⁴⁾。

$$W = K \times P^{0.585} \times S^{1.39} \times (D_r + S) \quad (1)$$

ここで、 W ：タイヤ荷重、 K ：荷重係数、 P ：タイヤ空気圧、 S ：計算タイヤ幅、 D_r ：リム径

(1)式は古くからタイヤ工業界で採用されている経験式であるが、よく実状とあっており、現在でもタイヤの用途や形状に応じて(1)式を修正して使用している。

(1)式において、寸法的な条件より S や D_r が決められるとタイヤの負荷能力を高めるためにはタイヤ空気圧を高める以外に方法がない。このために新交通システム用タイヤにおいてはカーカスとベルトに高強力スチールコ

図 3 スチールラジアルタイヤの断面

ードを使用して耐圧力を高めたスチールラジアルタイヤが使用される。

高いタイヤ内圧の下で高荷重が加わると、一般にはタイヤビード部に高応力が発生する。タイヤの設計に際してはビード部を強化し、応力集中をさける構造およびタイヤ形状としなければならない。タイヤの走行中に発生する内部応力は有限要素法を使用して計算して求めている。

図4に3次元有限要素法によるタイヤ変形時の計算結果を示す⁵⁾。空気タイヤの内部応力の有限要素法による計算においては下記の点が重要な手法となっている。

1) タイヤ断面内だけではなく、周方向の解析のために3次元解析が必要である。

2) タイヤはゴムとスチールコードという著しくヤング率の異なる材料の組合せからなる異方性複合材料としての取扱いが必要である。

3) タイヤは負荷時に10%に達する大変形を受けるため非線形解析が必要である。

4) タイヤのゴムは粘性的性質も合わせもっている。このため、くりかえし変形による発熱の問題を検討する場合にはゴムを粘弾性体として取り扱わなければならない。

3.2 安全性

一般の自動車用タイヤに安全性が要求されているのはいうまでもないが、新交通システム用タイヤにはよりいっそうの安全性が要求される。空気タイヤは釘ふみ等の外傷によりパンクが発生すると急激にタイヤ内圧が低下し車両の走行が不安定となる。このために最近では、釘がタイヤを貫通しにくいようにトレッド部をスチールベルトで補強したタイヤや、万一釘が貫通しても急激な空気もれが発生しにくいチューブレス構造のタイヤが普及しており、一般の自動車ならばタイヤがパンクしても安

全に路肩まで避難することができる。

しかし新交通システムは前に述べたごとく専用的高架線を走行するので、高架線上でタイヤがパンクすると車両の走行が不能となり、システム全体が麻痺するばかりでなく、乗客の避難も困難である。このために新交通システム用のタイヤにはさらに十分な安全対策が必要となってくる。

図5は充填式ノーパンクタイヤである。このタイヤは普通の空気タイヤをリムに組み、空気のかわりに液状の軟質ウレタンゴムを加圧注入した後に硬化させたもので、ウレタンの注入圧力を調節することにより、比較的低速の走行ならばかなり大きな負荷能力が得られる。釘ふみ等によるパンクの発生もなくなり新交通システム用タイヤとしては好適であり、当初の新交通システムには充填式タイヤが使用されることが多かった。

しかし、充填式タイヤは重量が重く、コスト高となり、タイヤのパネ定数が空気タイヤに比べると大きくなるために乗り心地が悪いという欠点があった。このために最近では普通の空気タイヤにパンクに対する安全装置をとりつけた「中子式空気タイヤ」が使用されることが多い。図6が中子式空気タイヤである。

中子式空気タイヤはタイヤの内部にアルミ合金または耐熱性FRPのリングを組み込んだもので、タイヤ空気圧が正常のときにタイヤに荷重が加わってもタイヤ内面と中子の外周との間には適当なすきま δ が保たれ、中子式空気タイヤは普通の空気タイヤとまったく同様の走行を行なう。すきま δ はタイヤに静止荷重の他に走行中に

図4 有限要素法による空気タイヤの変形の解析

図5 充填タイヤ

図 6 中子式空気タイヤ

表 2 新交通システム用タイヤの諸元

タイヤサイズ	13/80R20 18PR
タイヤの型式	中子式空気タイヤ チューブレス型
リムサイズ	8.50V×20
タイヤ空気圧	9.0 kgf/cm ²
タイヤ外径	1,050 mm
タイヤ総幅	320 mm
トレッド幅	250 mm
最大荷重（静止荷重）	4,500 kg
最大荷重（変動荷重）	6,100 kg
最高速度	60 km/h
静荷重半径（満車時）	480 mm
静荷重半径（パンク時）	460 mm

路面から加わる衝撃力による変動荷重が加わってもタイヤと中子が接触しない範囲で、かつタイヤがパンクした際に生ずる車両の傾斜が安全限度を越えないように設定されている。

万一、タイヤがパンクするとタイヤの変形量が大きくなり、タイヤ内面と中子が接触して、中子でタイヤ荷重を支えながら応急的な走行が可能である。一般的には時速 30 km/h ならば 50 km 以上走行することができ、高架線上の何処でパンク事故が発生しても、乗客を最寄りの駅で降ろし、整備工場までたどりつくことができる。またタイヤのパンクを早期に検知するための「パンク検知装置」も実用化されている。この装置は、正常な

図 7 空気タイヤの μ - S 特性

v : タイヤ周速, v' : 車輪速度

タイヤとパンクしたタイヤではタイヤの接地圧力分布に変化が生ずることを利用して、走行路面に各種センサを埋め込みパンクしたタイヤが通過するとセンサが作動しコントロールセンタに警報信号を送るものである。

3.3 トラクション性能と摩耗寿命

車両を発進加速、減速停止させ、坂路を登坂するときにはタイヤから路面に力を伝達するためにタイヤにはトラクション性能が必要である。車両を加速（減速）する場合にはタイヤを車両速度よりもやや速く（遅く）回転させ、路面とタイヤとの間に相対すべり運動を生じさせて得られる摩擦力が駆動力（制動力）となる。路面とタイヤの間の摩擦係数 μ は路面あらさ、表面状態（ドライ、ウェット）、タイヤトレッドパターン、トレッドゴムの粘着性等により大きく変わる。またすべり率 S によっても図 7 に示すごとく変化する。とくにウェット路面におけるトラクション性能が車両の走行に重要な影響を及ぼす。

新交通システムは乗客の利便性を最大限に優先させる目的で、駅間距離は短くなっているためにタイヤには常時、加速・減速のくりかえしによる摩擦力が加わる。また、専用高架道を敷設する都合上、急坂路が多い。これらの走行条件のために新交通システムでは鉄輪よりも摩擦係数の高いゴムタイヤが適している。

しかしこの反面、タイヤは常時路面に対して摩擦されながら回転走行するためにトレッドの摩耗が早い。一般に空気タイヤはトラクション性能を良くすると摩耗寿命が低下するという二律背反性がある。このためにタイヤのトラクション性能と摩耗寿命をバランスさせることが必要であり、タイヤとしてはトレッドパターンとトレッドゴム質の適正化を行なっている。また走行路面の表面

あらさがこの二つの性能に著しく影響を与え、路面状態の適正化も必要である。

4. お わ り に

新交通システム用タイヤとしては、以上に述べた性能の他に、のり心地、タイヤ騒音、ころがり抵抗、電気絶縁性、難燃性等に対する要求があり、さらに改良がすすめられている。

新交通システムは徐々にではあるが着実に普及していくことが予想される。現在の新交通システムは当初望まれていた乗用車のような快適性や小まわり性を有したものであるが、将来的にはさらに小型化され、よりユーザ指向に近いシステムも現われてくるものと思われる。

新交通システムの普及により交通渋滞などの交通問題から解放されることが期待される。

参 考 文 献

- 1) 井口雅一, 山下恭生: 新交通システム, 朝倉書店, 東京 (1985).
- 2) カタログ "NEW-TRAM," (株)新潟鉄工所 (1981).
- 3) 矢崎芳直: 日本機械学会誌, **90**, 823 (1987), 734-735.
- 4) JIS D4202-1982 自動車用タイヤの諸元 解説.
- 5) 加部和幸: ゴム系複合材料・構造の設計, 第6回ゴム技術シンポジウム講演要旨集 (1988), pp. 98-102.

日本複合材料学会誌 (邦文誌) への論文投稿のすすめ

日本複合材料学会誌 (邦文誌) は年6回の刊行で、各号に3～4編の邦文論文 (研究論文, 研究ノート, 技術資料) の掲載を予定しております。会員各位の積極的なご投稿をおすすめいたします。

■投稿資格 本会会員に限りませんが、会員外の共同研究者を含むことはさしつかえありません。

■原稿の種類および制限頁数

研究論文: 刷上り6ページ以内

研究ノート: 刷上り2ページ以内

技術資料: 刷上り6ページ以内

■投稿の申込み 任意の用紙に著者名, 論文題目, 論文種目, 論文要旨 (400字以内) および連絡先等を記入のうえ下記宛郵送ください。

〒113 東京都文京区湯島 2-30-9

学会誌刊行センター内

「日本複合材料学会誌」編集委員会

(TEL. 03-817-5825)

折返し、学会所定の原稿用紙 (有料) をお送りいたします。論文作成の要領は原稿用紙の表紙裏面に印刷してありますのでご参照ください。

■掲載料 無料

■別刷料金

	50	100	150	200部
1～2頁	12,000	16,000	20,000	24,000円
3～4	18,000	22,000	26,000	30,000
5～6	24,000	28,000	32,000	36,000
7	40,000	45,000	50,000	55,000
8	50,000	55,000	60,000	65,000

(全表紙付, 購入義務最少50部)