

タイヤ研磨装置「けんま君」のタイヤ性能向上効果について

Effects of tire abrasion device "kenma-kun"

山根旭裕¹, 松井 隆², 太田英順³, 二瓶光弥³

Akihiro YAMANE¹, Takashi MATSUI², Ei-jyun OHTA, Mitsuya NIHEI³

¹東京電機大学大学院

¹Tokyo Denki University (Graduate School)

³(有)エー・アイ・エス

²A・I・S Ltd .

³(独)産業技術総合研究所

³Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1. はじめに

冬用タイヤとしてのスタッドレスタイヤは、積雪寒冷地域の生活になくしてはならないものとしてしっかりと定着している。すでに多くのユーザーが認識しているように、現在のスタッドレスタイヤは、かならずしも、すべての雪氷路面にたいして万能とはなっていない。特に0付近の氷上での性能は極端に低下し、スリップ事故件数増加の要因ともなっており、タイヤの氷上性能の向上が大きな課題となっている。氷表面では水膜が潤滑の役割をはたして摩擦係数の低下を示すことが知られている¹⁾²⁾が、この潤滑状態での摩擦は複雑な挙動や現象を示す³⁾。タイヤの氷上性能向上のためには、これらの現象の系統的な調査や詳細な解析が必要であるが、充分にはなされていないのが現状となっている。

タイヤ研磨装置「けんま君」は、タイヤとしての基本性能は確保されているものの、タイヤトレッドの偏磨耗、タイヤ表面のゴム質の劣化、タイヤ表面粗さの低下、サイブやブロックパターンのエッジ部分の鈍角化等により低下した性能を表面研磨することで回復させることを意図したタイヤトレッド表面の研磨装置⁴⁾である(概要を図1に示す)。

著者らは、これまでに(1)偏磨耗(段減り)したタイヤを研磨することにより走行抵抗(転がり抵抗)を低減して燃費の向上に繋がる⁵⁾ことや、(2)中古スタッドレスタイヤのトレッド表面を研磨することで適度な粗さを付与することにより氷上性能を向上させること⁶⁾などを明らかにしてきた。

本報では、さらにタイヤ騒音の低減効果や新品スタッドレスタイヤも研磨した方がしない場合よりも氷上性能が大幅に向上するという現象を明らかにしたのでこれらの結果について述べる。

2. タイヤ騒音の低減効果

図2に段減りしたタイヤおよびそれを研磨したタイヤのトレッド表面状態の一例を示す。研磨は、40の粗い研磨

ベルトで段減りによる段差がなくなるまで削り、最後に仕上げ面として120の研磨ベルトで仕上げた。試験に使用したタイヤの概要を表1に示す。段減りタイヤはタクシー会社で使用されていたタイヤで段減りと共に破棄されたも



図1 タイヤ研磨装置「けんま君」⁴⁾

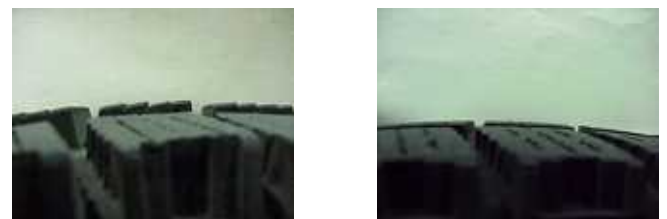


図2 研磨前(a)と研磨後(b)のトレッド表面の外観

表1 試験に使用したタイヤのパラメータ
(サイズ: 175/80R14)

		溝深さ(mm)	ゴム硬度	製造年・週
段減り タイヤ	1	10.0	53.6	2006年18週
	2	10.0	59.2	"
	3	9.4	54.1	"
	4	9.8	55.5	"
研磨 タイヤ	1	5.4	65.6	2004年36週
	2	4.7	66.1	" 35週
	3	5.3	65.7	" 35週
	4	5.8	63.3	" 34週

のである。研磨タイヤは段減りタイヤと同じタクシー会社で使用され段減りしたタイヤを前述の要領により研磨装置で研磨したタイヤである。これは段減りタイヤと比較して摩耗の程度が大きくなっていると共に、ゴム硬度も硬くなっている状態となっている。

これらのタイヤを用いて、図3の産総研テストコースにて自動車騒音試験を実施した。試験は、「自動車騒音測定法」⁷⁾における定常走行騒音試験とした。騒音計(JIS Z 8731)のマイクロホンの高さは1.2m、走行車両までの距離は7mとした。測定は各タイヤ毎にその最大値を記録し、5回の平均値を求めた。また、比較参考用として段減り・研磨タイヤと同一銘柄の新品スタッドレスタイヤと試験車両に付随の夏用タイヤも同時に測定した。

これらの測定結果を図4に示す。段減りタイヤで順目と逆目があるが、順目は車両の進行方向に対して制動状態で摩耗したと考えられる方向にタイヤを装着した場合であり、逆目はこれとは逆に装着した場合である。これより研磨したタイヤは大幅に騒音が低下することが判る。夏用タイヤに近い値となっていることが判る。また、段減りタイヤでは、順目よりも逆目の方が騒音値はより高い。これらのメカニズムを考察するため、接地面形状や面圧を調べた例を図5に示す。これは、室内タイヤ試験機上で、富士フィルム社製のプレスケールを用いて測定したもので、接地荷重は実車相当の4kNとした。これより、次のことが明らかになった。

- (1)見かけの接地長さ L_0 は研磨タイヤよりも段減りタイヤの方が長い。これは、溝深さの差(タイヤ有効半径の差)が現われているものと言える。
- (2)見かけの接地幅 W_0 は、段減りタイヤも研磨タイヤもほ

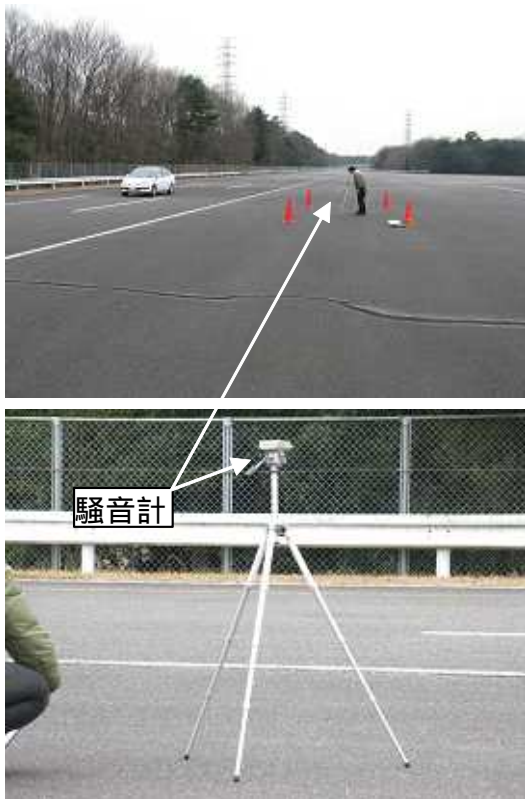


図3 自動車騒音試験(「定常走行騒音試験法」に準拠(騒音計はJIS Z 8731)。試験速度 60km/h 一定。)

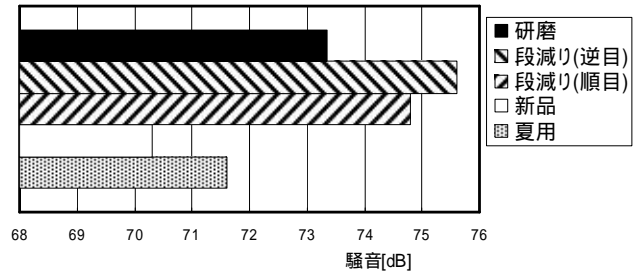


図4 騒音試験結果

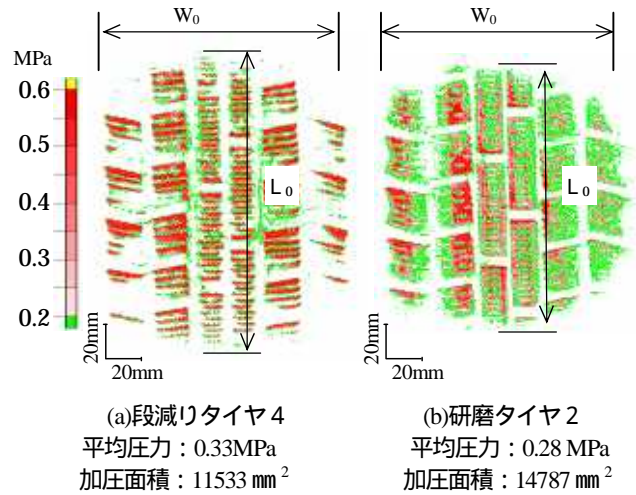


図5 試験タイヤの接地面圧と接地(加圧)面積の測定例

ば同じである。
 (3)接地(加圧)面積は、段減りタイヤよりも研磨タイヤの方が大きい(約1.3倍)。これは、研磨によるトレッド面の平滑化が効果を現していると言える。
 (4)平均面圧は、段減りタイヤの方が研磨タイヤよりも約1.3倍大きい。これは、ゴムブロックやサイブ部分が鋸刃状に摩耗しているため、接触面積が小さく、面圧は高くなっているものと考えられる。
 以上の結果より、研磨タイヤは、段減りタイヤよりも真実接触面積が大きく、面圧が小さくなり、また、段減りタイヤよりもゴムブロックやサイブ部分が平滑になっていることやトレッド溝深さが小さく、ゴム硬度も硬くなっているため、ゴムの変形によるヒステリシス損失も小さくなり、タイヤによる路面への打撃音や接地面内すべりによる摩擦音等が低下したものと考えられる。

3. 新品スタッドレスタイヤの氷上性能向上効果

3.1 試験に使用したタイヤ

市販のスタッドレスタイヤ5種の新品タイヤを用いて、新品のままの状態とそれを研磨した状態での氷上性能試験を実施した。

試験に使用した新品タイヤおよびそれを研磨したタイヤの主なトレッド表面の性状を表2に示す。新品タイヤのA~Eは代表的な市販スタッドレスタイヤであり、ゴム硬度を見るとタイヤAが最も軟らかく、タイヤDが最も硬いタイヤとなっている。この新品タイヤを表3に示す研磨条件(研磨1、研磨2、研磨3)で研磨したタイヤをそれぞれ(タイヤ記号)研磨1、(タイヤ記号)研磨2、(タイヤ記号)研磨

表2 試験に使用した新品タイヤおよび研磨タイヤ
(サイズ: 175/70R14)

		溝深さ(mm)	ゴム硬度 (25)	表面粗さ (Rz: μm)
新品	A	8.48	42.6	26.0
	B	8.30	47.5	24.8
	C	8.33	46.1	20.7
	D	8.08	51.4	18.4
	E	8.55	46.6	17.9
研磨1	A 研磨1	8.33	44.1	31.4
	B 研磨1	8.38	46.8	29.6
	C 研磨1	8.20	46.1	19.4
	D 研磨1	7.95	53.9	24.8
	E 研磨1	8.48	47.2	33.0
研磨2	A 研磨2	8.23	44.4	39.5
	B 研磨2	8.23	46.4	28.6
	C 研磨2	8.20	46.1	19.7
	D 研磨2	7.93	52.5	11.7
	E 研磨2	8.38	47.8	29.0
研磨3	A 研磨3	8.28	44.4	38.8
	B 研磨3	8.23	49.5	24.1
	C 研磨3	8.23	48.4	28.5
	D 研磨3	7.85	54.8	17.9
	E 研磨3	8.25	47.6	31.9

表3 研磨条件

(研磨ベルト: 400、研磨ベルト速度: 37.3m/min、
研磨ベルト接触圧: 0.1MPa、タイヤ速度: 2.5rpm)

		トレッド左 側研磨・タイ ヤ回転数	トレッド中 央研磨・タイ ヤ回転数	トレッド右 側研磨・タイ ヤ回転数
研磨条件	研磨1	(正)2回	(正)2回	(正)2回
		(逆)2回	(逆)2回	(逆)2回
	研磨2	(正)5回	(正)5回	(正)5回
		(逆)5回	(逆)5回	(逆)5回
	研磨3	(正)10回	(正)10回	(正)10回
		(逆)10回	(逆)10回	(逆)10回

3と呼び表記した。研磨1は表3に示したように、研磨方向の正・逆の両方に対してタイヤ2回転分研磨した状態(合計4回転分研磨)であり、研磨2は正・逆5回転(合計10回転分)研磨した状態、研磨3は正・逆10回(合計20回転分)研磨した状態である。

3.2 試験方法

氷上性能試験は図5に示す室内タイヤ試験機を使用してタイヤのμ(制動力係数)-S(スリップ比)特性を求めた。

室内タイヤ試験機は、直径3mのドラムの内面(幅60cm)に氷を作製し、その上をタイヤが走行する形式となっている。ドラム側は、速度制御が可能であり、タイヤ側は、速度およびトルク制御が可能となっている。また、タイヤに発生する力は、ハブダイナモメーター(6分力計)で測定できる。試験機の主要部分は、冷凍庫内に設置され、庫内温度は、常温から-30まで任意に設定可能となっている。

μ-S特性試験は、ドラム速度を一定でタイヤ速度を一定速度から0km/h(制動時)、ついで、摩擦熱による水膜の

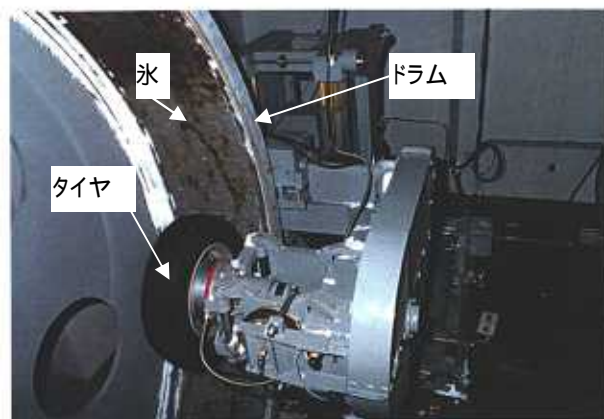


図5 室内タイヤ試験機

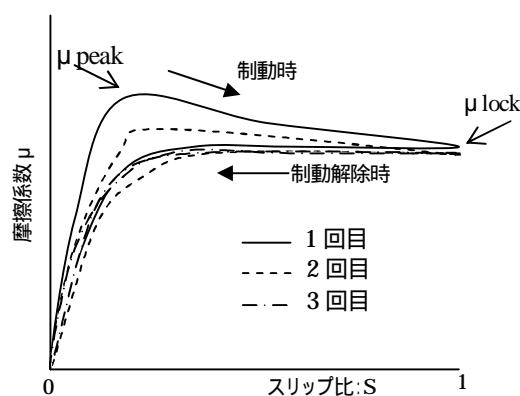


図6 μ-S特性の概念図

影響を見るため、0km/hから一定速度まで(制動解除時)と変化させてその時の制動力係数μ(制動力/接地荷重)を測定した。さらにこの制動、制動解除を2回繰り返す(合計3回)、摩擦熱等により発生した水の影響について調査した。なお、スリップ比Sは、 $S = (\text{ドラム速度} - \text{タイヤ速度}) / (\text{ドラム速度})$ で表される。μ-S特性の概念図を図6に示す。一般に氷上でのタイヤのμ-S特性は、低スリップ比でμは最大値をとり、タイヤがロック(S=1のとき)するとμは低下する(ここでは、この最大値を制動時、制動解除時共にμ peakと呼び、また、ロック時をμ lockと呼ぶ)。試験温度は-3、-1、試験速度は30km/h、加減速度は15km/h/s、接地荷重は3.5kNとした。

3.3 試験結果および考察

図7に1回目の制動時のμ-S特性の試験結果を示す。これより次のことが明らかになった。

(1) 全体的に研磨した方が氷上性能は向上する。特にタイヤAやタイヤEでは大幅にμが向上する(最大約40%ほどμが向上する場合もある)。

(2) 研磨によるμの向上はタイヤの種類ごとに異なり、タイヤAやEは研磨3まで研磨させた方がμは大幅に向上し、タイヤBやCは研磨1や研磨2の状態の方がμは高くなる傾向にある。タイヤDは、研磨1から3までのどの状態でもμは変化が少ない結果となった。

図8に各タイヤのトレッド表面状態を示す。新品の場合は、タイヤ製作時にできるひげ状の突起(スピーア)があ

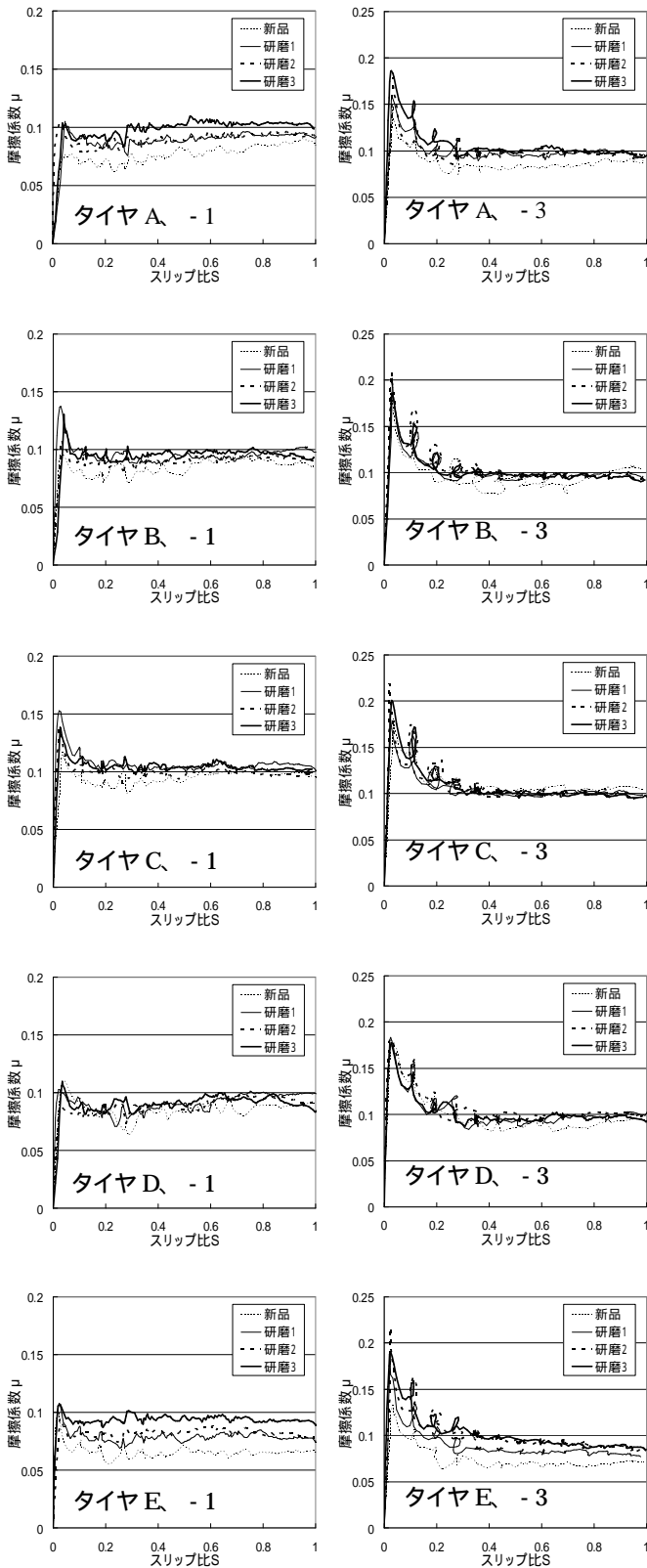


図7 μ - S 特性の例 (制動時1回目)

ることや各タイヤごとにサイブの形状や細かなグルーピング(リブレット)の加工方法が異なっていることが良く判る。研磨1から研磨3へと摩耗状態が進むと、各タイヤごとにゴム本来の特性である性状が表面に現われてきているのが判る。タイヤAは発砲ゴム、タイヤBは大粒のファイバーらしきものが出現している。また、リブレットは研磨1から研磨3にかけて徐々に摩滅していることも判る。特にタ

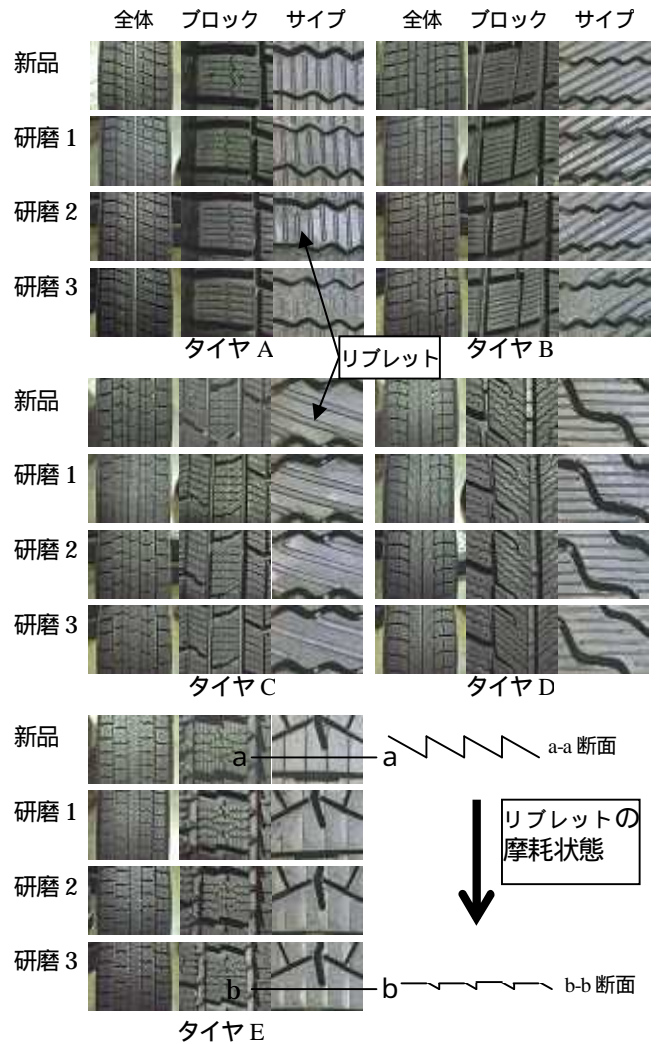


図8 各タイヤのトレッド表面の状況

イヤEの場合は、図8にも記したように鋸歯状のリブレットとなっており研磨3ではほぼ平坦な状態に近づいていることが判る。タイヤAの研磨によるμの大幅な向上は、この発砲ゴムの出現が効果を発揮していること、タイヤBは、ファイバーの出現、タイヤEは、鋸歯状リブレットの平滑化による接触面積の増加や面圧の低減等がμを向上させているものと考えられる。また、これらの研磨したトレッドの表面状態は、タイヤがアスファルト路面上を数百 km 走行した状態に相当するものと考えられる。

前述の2章と同様に、各タイヤの接地面形状や面圧を調べた結果を図9に示す。これより、タイヤAやEについては、新品の状態よりも研磨2、研磨2よりも研磨3の方が、局所的な面圧の集中が無くなって、接地面全体に分散されていることや、それと共に、ブロックやサイブの形状がはっきりと現われてくる状態となっていることが判る。すなわち、サイブやブロックのエッジがシャープになっていると言える。これは、タイヤAやEの場合、研磨3の状態の方がμは大幅に増加していることと一致する。

タイヤBやCの場合は、研磨2の状態が最も接触面全体に面圧が分散されて、ブロックやサイブの形状がはっきりと現われていることが判る。これは、タイヤBやCのμが研磨1や研磨2の場合の方が高い傾向と一致する。タイヤDは、新品、研磨2、研磨3共にあまり変化が無い(トレッ

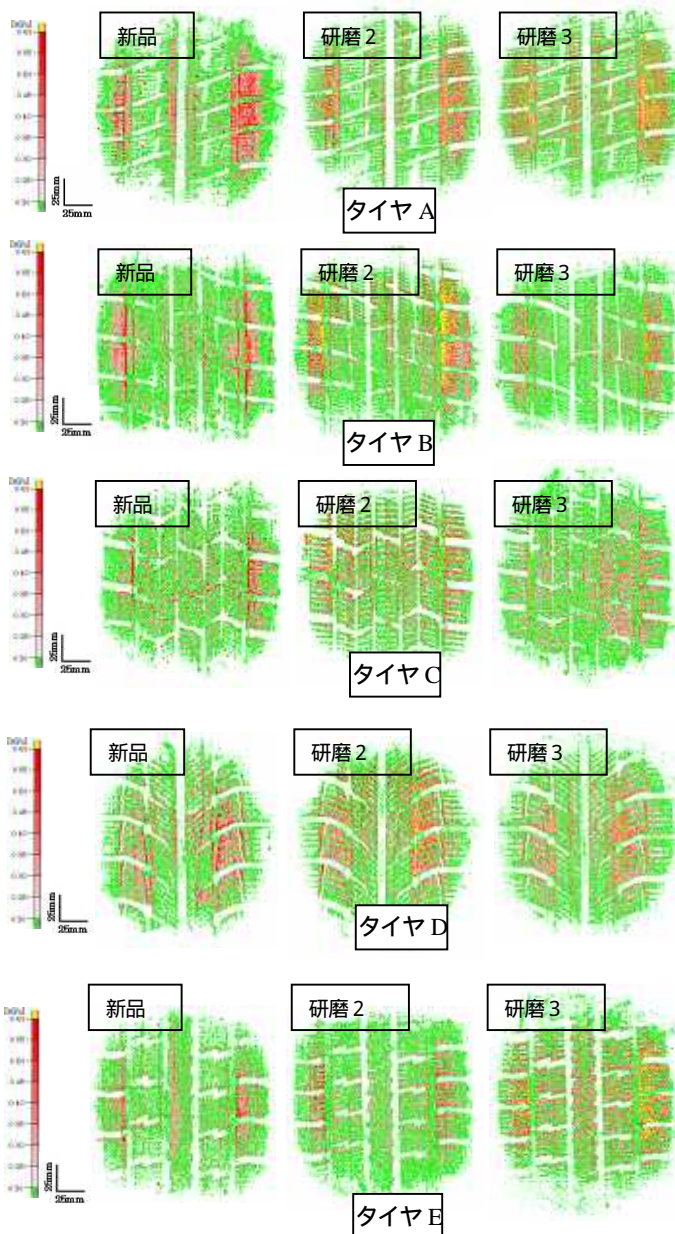


図9 試験タイヤの接地形状および接地面圧分布
(接地荷重: 3.5kN、空気圧: 2.2MPa)

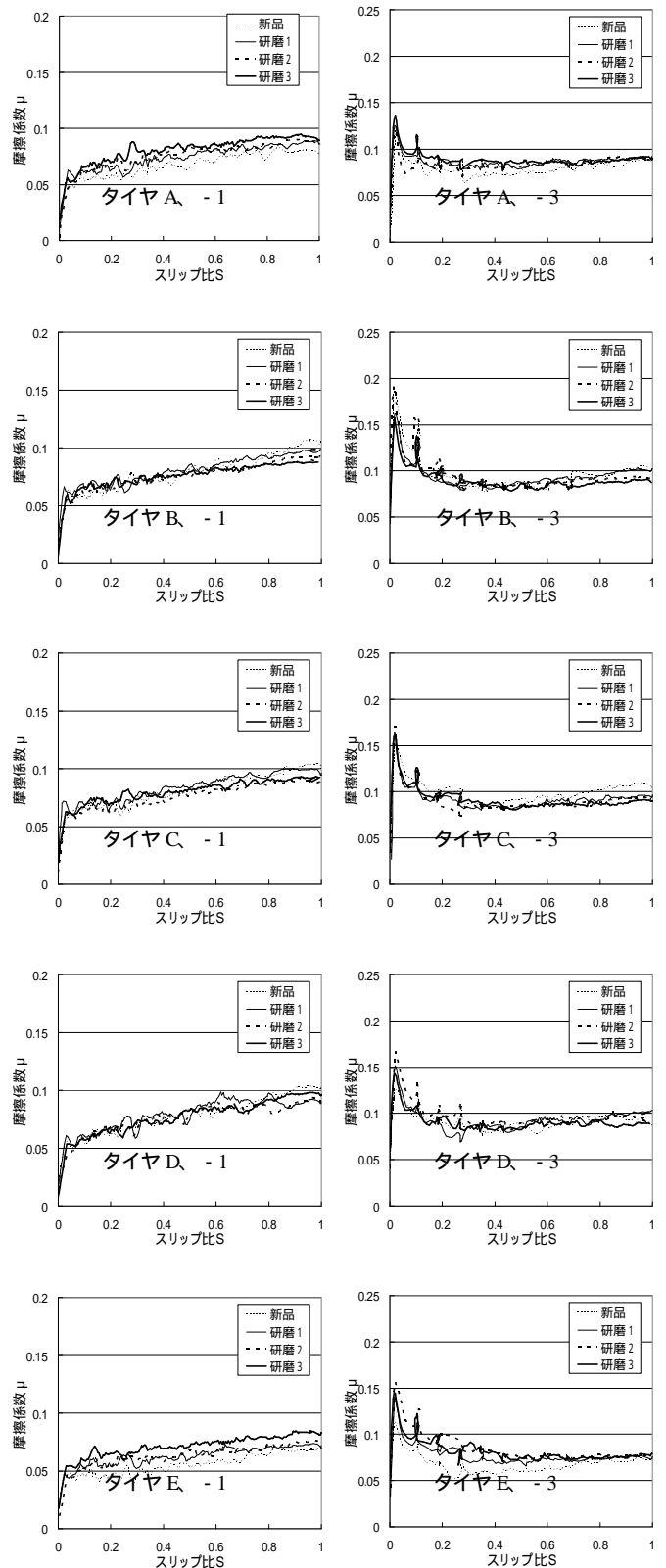


図10 $\mu - S$ 特性の例 (制動時3回目)

ドゴムが摩耗していない)。これも μ の傾向と一致する。

これらの結果より、氷上性能の大幅な向上は、研磨することによってゴム本来の性状の発現やサイブやブロックのエッジが鋭利な状態となること等が影響しているものと考えられることが判った。

次に、 $\mu - S$ 特性の制動時の3回目の結果をまとめたものを図10に示す。これより次のことが明らかになった。

(1) 摩擦熱で発生した水がトレッド表面に付着した状態や氷結路面の表面性状が変化した状態(タイヤが同じ氷の上を制動しながら通過していることで性状が変化する)でも研磨したタイヤの方が μ は若干高い。基本的には水の影響が大きく、摩擦力は水の粘性せん断力のみで支配されると考えられるのでタイヤごとの差は小さくなっている。

(2) 図7の1回目と比較すると全体的に μ は大幅に低下しており、特に -1 では、低スリップ比での μ のピーク値が無くなってしまふことが判る。これは、ABS 付きの車両の場

合制動距離が長くなってしまふことを意味し、極めて危険な状態となることが判る。

いずれにしても、このような制動の履歴でトレッド表面に大量の水が付着した状態や試験用氷の性状が変化した場合でも研磨したタイヤの方が μ は大きくなることから新品タイヤを研磨処理することは大きな効果があるものと言える。

このように水の影響で、特に - 1 の状態やタイヤがロックして滑っている状態では、タイヤの氷上性能は水の粘性せん断力に支配されるものと考えられる。これは、摩擦力はトレッドゴムと氷結路面間の水の層の厚みで決まると推察できるが、今回の $\mu - S$ 特性の実験結果とトレッドゴム表面に極わずかな水の液滴を滴下したときの接触角とどのような関係にあるかを調べた。接触角の測定は「携帯式接触角計 PG-X」⁸⁾ を使用した。図 11 に測定例を示す。液滴の大きさはリプレットの影響が出ないように 0.5μ と小さいものを用いた。接触角と $\mu - S$ 特性の μ_{peak} および μ_{lock} との関係の例を図 12 に示す。

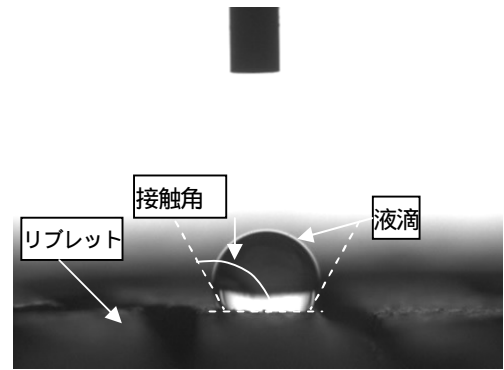
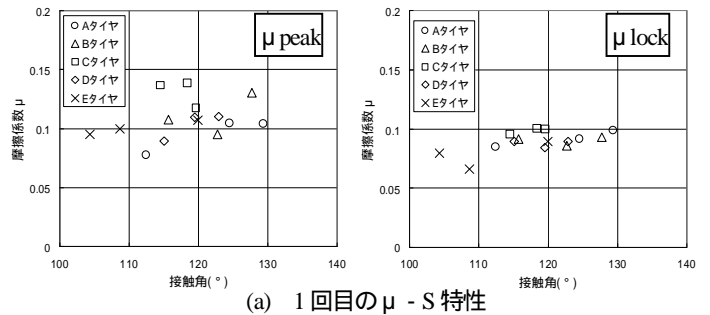


図 11 タイヤトレッド表面の接触角の測定例
(タイヤ D(新品)、液滴： 0.5μ)

これより、次のことが明らかになった。
 (1) 水の影響が少ないと考えられる 1 回目の μ_{peak} は、接触角との相関は小さく、タイヤごとの差が大きく現われていることが判る。これは、ゴム本来の性状と氷との摩擦が出現しているものと考えられる。
 (2) 水の影響が出てくる 1 回目の μ_{lock} や 3 回目の μ_{peak} および μ_{lock} はタイヤごとの差は小さくなり、接触角との関係がより鮮明になってきていることが判る。そして、水の影響が大きい走行条件では、ゴム質として接触角が 120 度前後のゴムを用いる (研磨処理も含めて) ことで最大摩擦係数が得られることが判る。

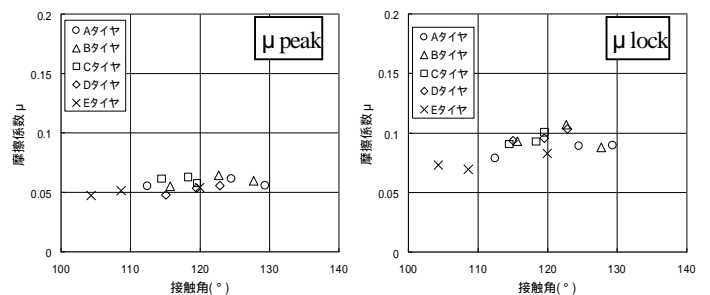


(a) 1 回目の $\mu - S$ 特性

4. まとめ

これらの結果より、タイヤ研磨装置「けんま君」の効果として次のことが明らかになった。

段減りタイヤの騒音の低減効果では、
 (1) 研磨することで騒音は大幅に低減する。
 (2) 研磨タイヤは、段減りタイヤよりも真実接触面積が大きく、面圧が小さくなり、また、段減りタイヤよりもゴムブロックやサイブ部分が平滑になっていることやトレッド溝深さが小さく、ゴムの変形によるヒステリシス損失も小さくなり、タイヤによる路面への打撃音や接地面内すべりによる摩擦音等が低下したものと考えられる。



(b) 3 回目の $\mu - S$ 特性

図 12 - 1 における $\mu - S$ 特性(制動時の μ_{peak} 、 μ_{lock})とトレッド表面の接触角との関係

新品スタッドレスタイヤの氷上性能の向上効果では、
 (1) 研磨した方が氷上性能(μ)は大幅に向上する。
 (2) タイヤの種類によって μ の向上の程度は異なる。
 (3) 試験温度の影響やタイヤトレッドに水が付着する走行条件ではタイヤごとに μ の変化は異なる。
 (4) 水の影響の大きい条件では、ゴム質として水の液滴による接触角が 120 度前後のゴムを用いる (研磨処理も含めて) ことで最大摩擦係数が得られる。

これらの氷上性能の大幅な向上は、研磨することによって、接触面積の増加や面圧の低減、局所的な面圧の集中が無くなって、接地面全体に分散されていること、ゴム本来の性状の発現やサイブやブロックのエッジが鋭利な状態となること、等が影響しているものと考えられることが判った。

謝辞

本研究におけるいくつかの実験に際しては、産総研の清水健一客員研究員ならびに芝浦工大大学院生の永瀬拓也君、三鶯康弘君にご協力頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- (1) A D Roberts, J D Lane : Friction of rubber on ice in the presence of salt, J.Phys.D:Appl.Phys., 16(1983)
- (2) 二瓶他：タイヤの氷上性能への摩擦熱の影響、自動車技術会論文集、Vol.28、No.1 (1997)
- (3) 内山：摩擦と表面、日本ゴム協会誌、第 65 巻、5 号 (1992)
- (4) 有AIS：タイヤ研磨装置「けんま君」 <http://ais1.jp/>
- (5) 三鶯、山根、松井、二瓶：スタッドレスタイヤのトレッド摩耗状態とタイヤ特性に関する研究、寒地技術論文・報告集 Vol.24、p1 - 6 (2008)
- (6) 二瓶、松井、加藤：タイヤの氷上性能へのトレッド表面粗さの影響、寒地技術論文報告集、Vol.22、p147-152(2006)
- (7) 自動車技術ハンドブック 試験評価編：(社)自動車技術会、p324 (1991)
- (8) 株マツボー：<http://www.matsubo.co.jp/>