

# 北海道工業開発試験所報告

REPORTS OF THE GOVERNMENT INDUSTRIAL  
DEVELOPMENT LABORATORY, HOKKAIDO

第48号

平成元年3月

特別研究報告書

スノースパイクタイヤの低公害化技術に関する研究

工業技術院

北海道工業開発試験所

特別研究報告書

スノースパイクタイヤの低公害化技術に関する研究

研 究 期 間

昭和60年度 ～ 昭和62年度

研 究 担 当 者

後藤藤太郎・鈴木良和・広木栄三・窪田 大

# スノースパイクタイヤの低公害化技術に関する研究

## 目 次

序

緒 論	1
1. 研究の背景と経緯	1
2. 研究の概要	2
文献	3
第I章 従来スパイクタイヤの特性試験	4
I-1 緒 言	4
I-2 実験方法	4
I-2-1 測定装置および供試用タイヤ	4
I-3 実験結果および考察	5
I-3-1 トレッドゴムブロック（パターン）の形状比較	5
I-3-2 新旧スパイクピンの形状比較	5
I-3-2-1 スパイクピン先端（チップ）の形状比較	5
I-3-2-2 スパイクピンのシャンク部の形状比較	5
I-3-3 トレッドゴムブロックとピンの摩耗の傾き	6
I-3-4 トレッドゴムブロックの圧縮特性	7
I-3-4-1 新タイヤのゴムブロックの圧縮特性	7
I-3-4-2 旧タイヤゴムブロックの圧縮特性	7
I-3-4-3 新旧タイヤのピンの有無による圧縮特性への影響	8
I-3-5 新旧タイヤに装着したピンの圧縮特性	9
I-4 結 言	12
参考文献	12
第II章 低公害スパイクピン素材の開発	13
II-1 緒 言	13
II-2 実験方法	13
II-3 実験結果及び考察	15
II-3-1 各種セラミックス粒子を鉄ベースに分散させた複合材	15
II-3-1-1 試料断面組織の観察	15
II-3-1-2 摩耗試験	15
II-3-2 鉄ベースを浸炭焼入れした鉄—セラミックス複合材	17
II-3-2-1 浸炭焼入れによる硬さと摩耗強度への効果	17
II-3-2-2 浸炭焼入れによる試料断面組織について	19
II-3-3 微粒酸化物を添加した鉄ベース複合材	22
II-3-3-1 微粒酸化物の添加による硬さと耐摩耗性への影響	22

II-3-3-2	微粒酸化物の添加による試料断面組織と硬さ分布	23
II-3-4	実車走行による摩耗試験	24
II-4	結    言	26
第III章	形状記憶合金の応用物性	27
III-1	結    言	27
III-2	実験方法	27
III-2-1	デバイス材の加工処理	27
III-2-2	デバイス材の形状記憶処理	27
III-2-3	形状記憶合金の温度一荷重測定	28
III-2-3	熱サイクル疲労負荷	28
III-3	実験結果及び考察	29
III-3-1	形状記憶処理温度と時間及びその変態温度	29
III-3-2	形状記憶処理温度と時間及びその熱サイクル疲労	30
III-4	結    言	36
第IV章	形状記憶合金のスパイクタイヤへの応用	37
IV-1	結    言	37
IV-2	実験方法	37
IV-2-1	供試スパイクタイヤ	37
IV-2-1-1	形状記憶合金作動材	37
IV-2-1-2	スパイクピン本体	37
IV-2-1-3	タイヤ	37
IV-2-2	供試タイヤの道路走行	37
IV-2-3	スパイクピン突出寸法及びタイヤトレッドゴム摩耗量の測定	37
IV-2-4	氷雪路面でのタイヤトルクの測定	38
IV-2-4-1	二走行型タイヤ試験機	38
IV-2-4-2	圧雪及氷雪走行路面の作製	38
IV-2-4-3	供試タイヤのトルク測定	38
IV-3	実験結果と考案	38
IV-3-1	NT スパイクピンの摩耗	38
IV-3-2	タイヤトレッドゴムの摩耗	39
IV-3-3	スパイクピンの突出寸法	40
IV-3-4	圧雪及び氷雪路面のトルク	42
IV-4	結    論	44
第V章	振動型荷重試験機によるタイヤ物性試験	45
V-1	結    言	45
V-2	実験方法	45
V-2-1	供試用タイヤ	45
V-2-2	実験装置	45
V-2-3	測定方法	46
V-2-3-1	タイヤの負荷重およびゴム変形量の測定	46

V-2-3-2	タイヤの硬度測定	47
V-3	実験結果と考察	47
V-3-1	各種タイヤの圧縮特性	47
V-3-2	走行速度による各種タイヤの繰り返し荷重による タイヤおよびゴム変形量の関係	48
V-3-3	温度による各種タイヤの圧縮特性への影響	51
V-3-4	空気圧による各種タイヤの圧縮特性への影響	56
V-4	結    言	59
参考文献		59
第VI章	雪氷路タイヤ用室内試験機の試作と性能特性	60
VI-1	結    言	60
VI-2	実験方法	62
VI-2-1	試験機の構造と仕様	62
VI-2-1-1	タイヤ走行用ドラム	62
VI-2-1-2	供試タイヤ支持およびスリップ角装置	62
VI-2-2	計測機器の関連図と仕様	62
VI-2-3	氷盤路走行面の作製	63
VI-3	実験結果と考察	63
VI-3-1	タイヤのシフト量差による $\mu$ -S 特性	63
VI-3-2	供試タイヤのシフト量及びスリップ角速度差によるコーナリングフォース	66
VI-4	結    言	70
第VII章	低公害試作タイヤの走行試験による評価	73
VII-1	結    言	73
VII-2	実験方法	73
VII-2-1	試験用スパイクタイヤ	73
VII-2-2	スパイクタイヤの圧雪路及び氷盤路性能試験法	75
VII-2-3	スパイクタイヤの舗装摩耗性試験法	76
VII-3	実験結果と考察	78
VII-3-1	スパイクタイヤの評価についての経緯	78
VII-3-2	圧雪路、氷盤路での実車走行試験による制動・駆動に関する評価	79
VII-3-3	室内試験機によるスパイクタイヤ舗装摩耗試験	91
VII-4	結    言	92
文    献		92
結    論		92
Reducing Environmental Pollution and Road Damage Due to Studded Tire		94

# スノースパイクタイヤの低公害化技術に関する研究 (FY 1985~1987)

後藤藤太郎\*, 鈴木 良和, 広木 栄三, 窪田 大

## 目 次

緒 論..... ( 1)	広木 栄三, 窪田 大 鈴木 良和, 後藤藤太郎
1. 研究の背景と経緯	
2. 研究の概要	
第I章 従来のスパイクタイヤの特性試験 ..... ( 4)	第V章 振動型荷重試験機によるタイヤ物性 試験..... (45)
窪田 大, 広木 栄三, 鈴木 良和	窪田 大, 広木 栄三, 鈴木 良和
第II章 低公害スパイクピン素材の開発 (13)	第VI章 雪氷路タイヤ用室内試験機の試作とそ の性能特性..... (60)
鈴木 良和, 広木 栄三 窪田 大, 後藤藤太郎	広木 栄三, 窪田 大, 鈴木 良和
第III章 形状記憶合金の応用物性..... (27)	第VII章 低公害試作タイヤの走行試験による評 価..... (73)
広木 栄三, 鈴木 良和, 窪田 大	広木 栄三, 鈴木 良和, 窪田 大
第IV章 形式記憶合金のスパイクタイヤへの応 用..... (37)	結 論..... (92)
	英文概要..... (94)

## 緒 論

### 1. 研究の背景と経緯

積雪寒冷地においても、今日みられる道路の整備と車の増加は北国の生活環境を変え、雪の少ない地域との距離感が無くなりつつある。このようなスピードを要する社会構造への変化は、地域の活性化を促進する上にも今後益々重要になっていくものと思われる。これに付随して、車の増加に伴い、冬期間のスパイクタイヤの使用によって生じる舗装路面の損傷と車粉公害は大きな社会問題になった<sup>(1,2)</sup>。

スパイクタイヤがはじめて外国で開発されたのは、1950年代にスカンジナビア地方においてであり、1957年にフィンランドでその特許が出願され、その後欧米各国でしばらく使用された。しかしながら、すぐに今日我国でみられるような道路の損傷が問題化し、1964年頃から主に西ドイツや米国で部分規制がなされ、1970年後半になって部分規制や全面禁止の国が増加し現在に至っている。こ

の間それらの国では、除雪と融雪の対策で交通の安全確保に努めている<sup>(3)</sup>。

我国では、諸外国に遅れること約10年で、1962年にスパイクタイヤが日本に輸入され、1975年頃から道路の損傷と交通安全、車粉公害の問題が顕著になってきた。スパイクタイヤの問題に関して、1980年前半に国内でなされた具体的な対策の一つとして、実状把握のためにスパイクタイヤによる舗装道路の摩耗試験や氷上試験が、主として道開発局土木試験所<sup>(4,5)</sup>、道工業大学、日本自動車タイヤ協会等<sup>(6,7,8)</sup>で行われた。日本自動車タイヤ協会では試験結果を基にして種々の解析を行い、スパイクタイヤの1次基準並びに1985年9月に2次基準を掲げ、自主的な規制目標を示した。これら既存のスパイクタイヤについては、基準内容によって道路の損傷と安全性との間で相矛盾した現象が生じてくる。それは低公害化と道路損傷を少なくするほど安全性の確保が難しくなるからである。したがって、北海道の気象状況に適した冬期間の新しいタイヤの開発には、舗装路面の損傷防止と無公害、安全性の確保がいずれも大きな課題として

\* 前所長：平成元年3月 退職

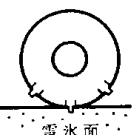
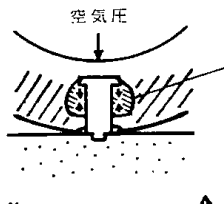
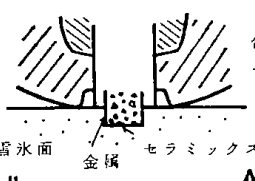
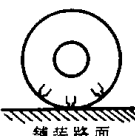
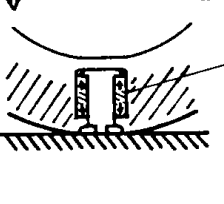
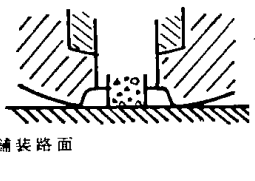
目 標		1 形状記憶合金によるピンの作動機構 の開発（高分子材料との複合化）	2 チップ素材の改良 （金属・セラミックス複合材）
原 理	ピン周り温度 0℃以下の時 	空気圧  合金複合体による収縮で、 ピン先が突出	 合金との併用 で突出 雪氷面 金属 セラミックス粒子
	20℃以上の時 	 合金複合体による膨張で、 ピン先が引込む	 合金との併用 で余分に突出 したピン先は トレッド面ま で摩耗
予想される 成 果		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 雪氷面での制動効果による安全保持</li> <li>○ 舗装路面の損傷防止</li> <li>↳ 車粉公害の防止</li> <li>↳ 道路管理経費の軽減</li> </ul>	

図1 本研究の目標

残され、国立研究機関としても早急にその技術的な解決策に取り組む必要にせまられた<sup>(9)</sup>。

当所においては、数年前から本研究の基礎になった「金属・セラミックスの複合材料の研究、形状記憶合金の応用研究」を行っており、これに基づいて昭和60年度より公害特別研究「スノースパイクタイヤの低公害化技術に関する研究」を、前年度より始めている機械技術研究所との共同研究として3ヶ年計画で進めるに至った。

## 2. 研究の概要

本研究の概要は、図-1に示すように次の2本の柱から成る。(1)形状記憶合金を使い、タイヤのトレッド面からスパイクピンの先が雪氷面と舗装路面の違いで、自動的に出入りできる構造にする。(2)タイヤのトレッド面の摩耗に平行して、ピン先の突出し量が一定に保たれる素材を開発する。これら2つの要素を共有させ、お互いの効果が相乗的に得られることによって、低公害と安全性の確保を図ることを目標にした。

初年度は、アクティブコントロールの動特性及び温度特性を測定できるスタッド動歪試験機の設計とその本体部の試作を行った。また、ニッケルチタン系形状記憶合金製のスタッドデバイス供試体を試作し、温度-荷重ヒステリシス曲線を

求めた。その結果、デバイス材の形状記憶効果を示すとヒステリシス温度幅を擬弾性領域の使用により小さくできる見通しを得た。次に、試作したアクティブコントロールスタッドを数本、タイヤに装着してドラム走行試験並びに実車による走行試験の結果、いずれの場合も約20,000kmの走行では性能劣化に問題点はみられなかった。さらに、低公害型スパイクピンとして、金属マトリックスにセラミックス粒子を分散させた複合材をチップにしたものを試作し、耐久性試験をした結果、鉄ベースにアルミナ、ジルコニア及び窒化珪素をそれぞれ分散させたものが耐摩耗性に優れていた。

昭和61年度は、スタッド動歪試験機を1部改造して二走行型とし、冷凍室内で運転できるようにした。その結果、同一のドラム内面を使って舗装面と氷雪面での温度差によるタイヤ及びスタッドの挙動解析が可能となり、その予備的実験を行った。また、低公害スタッドを試作するためニッケルチタンの組成と熱処理条件を調整することによって、耐久性を改善した。これらの試作ピンを数本タイヤに装着し、冬期間の実車走行試験によって次年度行う総合評価のための走行試験の見通しを得た。

昭和62年度は本研究の最終年度にあたり、これ

までのデータを基にして試験用低公害スタッドタイヤを試作した。試作タイヤの総合的な性能評価をするにあたり、スタッド動歪試験機の計測部を1部改造してトルク変化のデータ収集と記録が自動的にできるシステムにし、これらタイヤの動特性の測定を行った。次に、室内試験による結果に基づいて実車による実路走行試験を行い、両試験で得られた結果を解析し、試作した低公害スタッドタイヤの制動効果と耐久性、並びに低公害性に関する総合的な評価を行った。

以上の結果、低公害スタッドタイヤを開発するための基礎技術と同時にその評価技術を確立することができたので、これらの詳細についてここに報告する。

#### 文 献

- (1) 札幌市スパイクタイヤ問題対策会議：“「車粉」スパイクタイヤ問題について”札幌市（昭和60年2月），p.15
- (2) 北海道弁護士会連合会，札幌弁護士会：“車

粉砂漠からの出口を求めて”，スパイクタイヤを考えるシンポジウム（昭和59年12月，p.15

- (3) 日本自動車タイヤ協会：“みんなで考えようスパイクタイヤ問題”，JATMA（昭和58年7月），P.17
- (4) 久保 宏，門山保彦，佐々木泰比古：土木試験所月報，No.359，1983年4月，p.18
- (5) 久保 宏，熊谷茂樹，山西信雄，小笠原章，大類和照：土木試験所月報 No.374，1984年7月，p.1
- (6) 小笠原晋二，飯島弘巳，長谷川暁：自動車研究 第5巻第9号，昭和58年9月，p.347
- (7) 日本自動車タイヤ協会：スパイクタイヤ舗装摩耗試験結果報告書，JATMA（昭和59年9月）
- (8) 日本自動車タイヤ協会：スパイクタイヤ試験結果報告書，JATMA（昭和59年5月）
- (9) スパイクタイヤ問題懇談会：“スパイクタイヤ問題への提言”自由民主党政務調査会（昭和60年6月）



# 第 I 章 従来のスパイクタイヤの特性試験

窪田 大, 広木 栄三, 鈴木 良和

## I-1 緒 言

スノースパイクタイヤの低公害化を行うために、まずスパイクタイヤに装着されたピンおよびピン周辺部のトレッドゴムの挙動を把握する必要がある。本研究では、市販のスパイクタイヤを用いて実車走行前後のスパイクピンの形状変化、走行後のタイヤおよびタイヤから切り出したトレッドゴムブロックのピン圧縮荷重とゴム変形量との関係、スパイクピンのタイヤ取付け位置の影響等について測定を行い、スパイクタイヤの低公害化に必要な基礎データの蓄積を行ったので報告する。

## I-2 実験方法

### I-2-1 測定装置および供試用タイヤ

当所のインストロン万能試験機（写真 I-1）を用いて、写真 I-2 に示す市販のバイアスタイヤ（OHTSU 製 6.15-13, 4 PR, 以後新タイヤと略称）と 2 万 km 走行および 3 万 km 以上走行後のバイアスタイヤ（OHTSU 製 5.60-13, 6 PR, 以後旧タイヤと略称）を供試用タイヤとした。

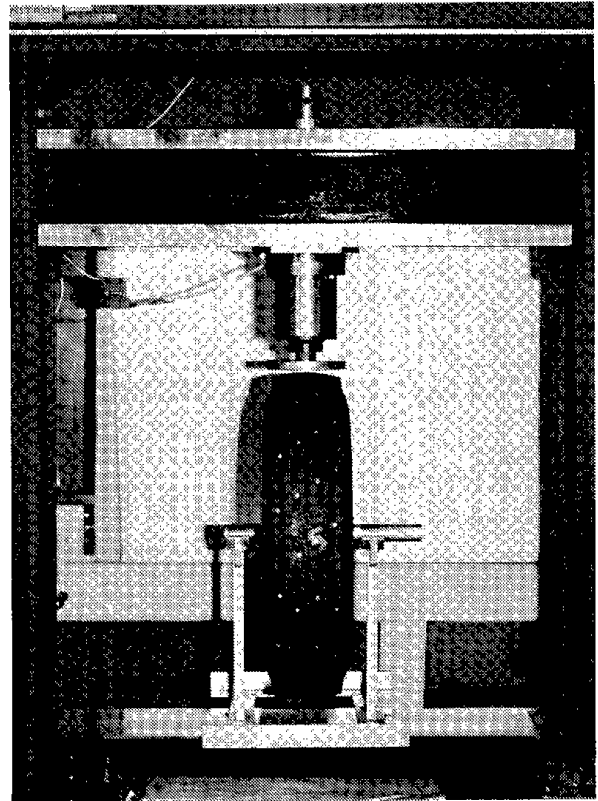


写真 I-1 インストロン試験機とタイヤ設置架台

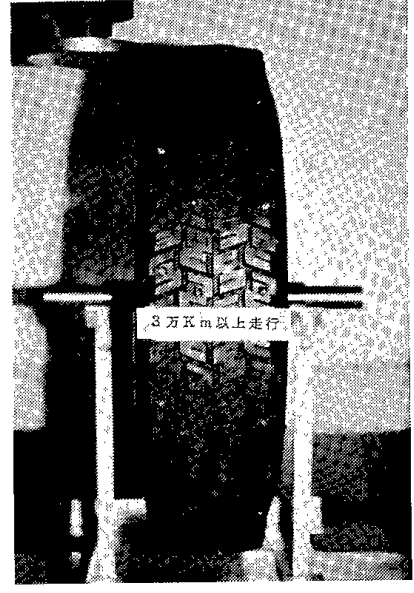
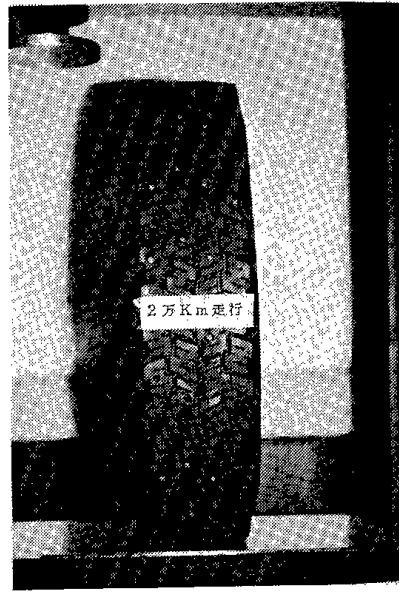
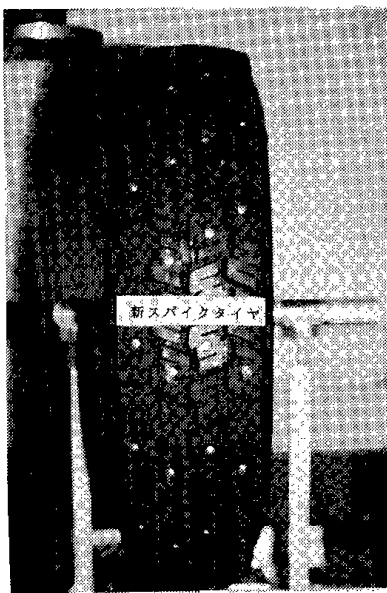
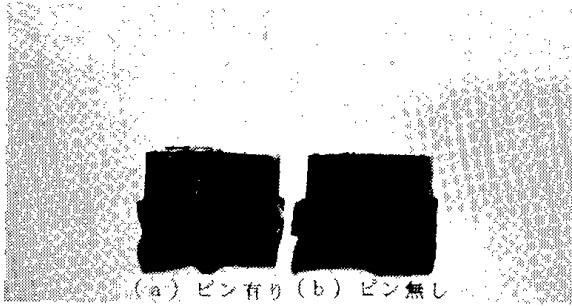
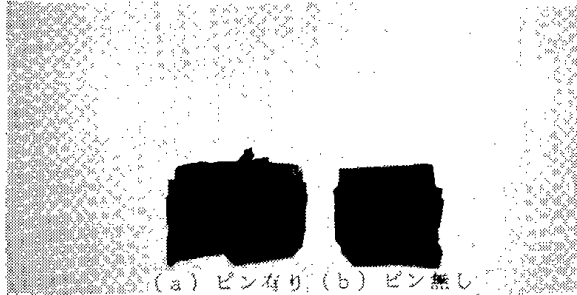


写真 I-2 新旧スパイクタイヤの形状



写真I-3 新スパイクタイヤのゴムブロック



写真I-4 旧スパイクタイヤのゴムブロック (3万 km 以上走行)

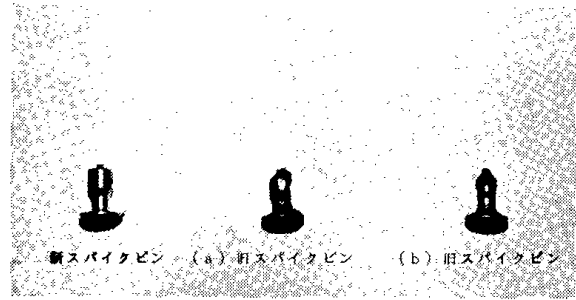
ピン圧縮荷重とゴム変形量の測定は、新旧タイヤのピン取付け位置での測定とタイヤから切り出したゴムブロック(写真I-3, 写真I-4)を用いて測定を行った。

試験条件については、試験温湿度が $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50 \pm 2\%$  RHで24時間以上状態調節を行ったのち、写真I-1に示した試験機で試験速度1 mm/minの条件で行った。

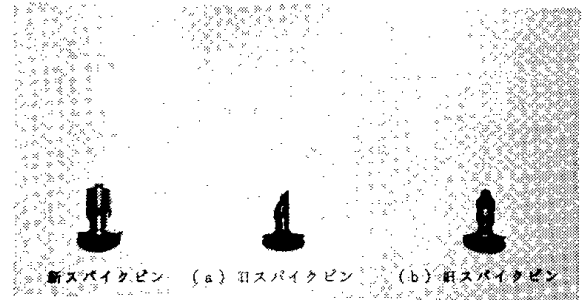
### I-3 実験結果および考察

#### I-3-1 トレッドゴムブロック(パターン)の形状比較

写真I-2から新旧スパイクタイヤのパターン形状を観察すると、旧スパイクタイヤではゴムブロック全体が摩滅して、エッジ部は丸みを帯び、溝部分が浅くなっている。またゴムの弾性を失い硬度が高くなり、トレッドゴムの表面にキズが多く光沢を失っている。さらにスパイクピンの有無によるゴムブロックの摩耗に相違が見られた。またピン無しブロックでは全体が平滑に摩耗しているのに対し、ピン有りゴムブロックでは特にピン周辺のゴム部分に偏摩耗や割れを生じたものがあった。



写真I-5 新旧スパイクピンの形状比較 (旧スパイクピン2万 km 走行)



写真I-6 新旧スパイクピンの形状比較 (旧スパイクピン3万 km 以上走行)

#### I-3-2 新旧スパイクピンの形状比較

##### I-3-2-1 スパイクピン先端(チップ)の形状比較

写真I-5, 写真I-6は新旧スパイクタイヤのピン形状を比較したものである。両図からスパイクピン先端の摩耗の仕方に2つの形状変化傾向が認められた。1つには写真I-5(a), 写真I-6(a)のようにピン先端の摩耗が車の転動方向から鋭角をなして傾斜しながら一定方向に著しい摩耗が認められた。もう1つは写真I-5(b), 写真I-6(b)に示すようにピン先端部分が丸みを呈したピンが一部に認められた。

##### I-3-2-2 スパイクピンのシャンク部の形状比較

写真I-5(a), 写真I-6(a)から、シャンク部の摩耗傾向がタイヤに打ち込まれたピン先端部が鋭角に摩耗した側面とは逆のシャンク側面に摩耗が著しく、ピン先端部の摩耗角度に平行した馬蹄形のように削り取られている。また、写真I-5(b), 写真I-6(b)に示すように、ピン先端部がほぼ全周にわたって半円状に摩耗が認められたピンではシャンクの高さ方向に波状の摩耗が生じている。このように写真I-5(a), 写真I-6(a)と写真I-5(b), 写真I-6(b)に大きな相違があるの

は写真 I-5(a), I-6(b)では車の転動により、タイヤに打ち込まれたピン先端が路面からの衝撃摩擦等を繰り返し受けるために、これを支えるシャンク部とそれに接触しているゴム接触部が厳しい接触摩擦を繰り返し、シャンク部の摩耗と同時にゴム接触部も摩耗したことが考えられる。また、写真 I-5(b), 写真 I-6(b)はピン位置がタイヤのショルダー部に近い位置のものに多く、タイヤの転動方向の力のほか、タイヤの転動方向に対して90°方向の横力も強く受けるためにスパイクピン自体に回転するような力が作用して、実車走行を繰り返すことによって、ピン全体とトレッドゴム接触部との密着が次第に不十分になり、シャンクおよびフランジ全体が少しずつ回転し、ゴム変形と同時に位置を変えながら軸運動を繰り返すためにシャンク全周にわたって波状に摩耗したものと考えられる。

### I-3-3 トレッドゴムブロックとピンの摩耗の傾き

写真 I-7はタイヤのトレッドパターンの形状を一部拡大したものであるが、これから図 I-1 (但し、写真 I-5(b), I-6(b)を除く)のようにタイヤに装着したピン位置での摩耗の傾きを図示した。図 I-1(c)はピン摩耗の傾き方向を示し

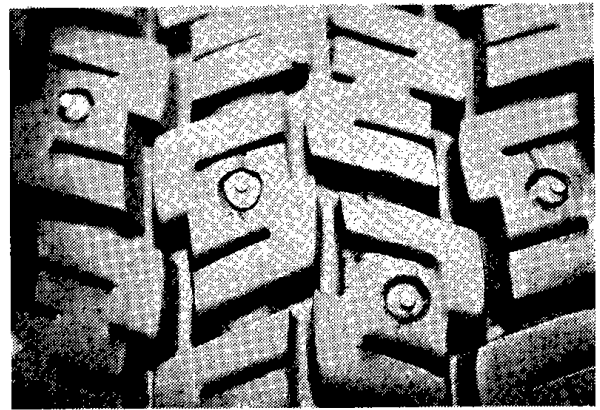


写真 I-7 旧スパイクタイヤのトレッドパターン (2万 km 走行)

たがタイヤに打ち込まれたピン位置②, ③では車の転動方向に対して約45度方向に向いた角度で、また①, ④ではさらに約45度から90度の範囲で向いて方向性(タイヤ中心軸方向)を示しており、タイヤが転動し、タイヤがたわみと接地面内のトレッドが接地中心に向かって収縮する。そしてタイヤトレッドには路面から接地前半では前方に、後半では後方に向かう力が働くとともにトレッドゴムには前後にせん断変形を受ける。また同時にタイヤ接地部も収縮して、トレッドゴムは路面からトレッドを広げようとする力を受けて横方向にせ

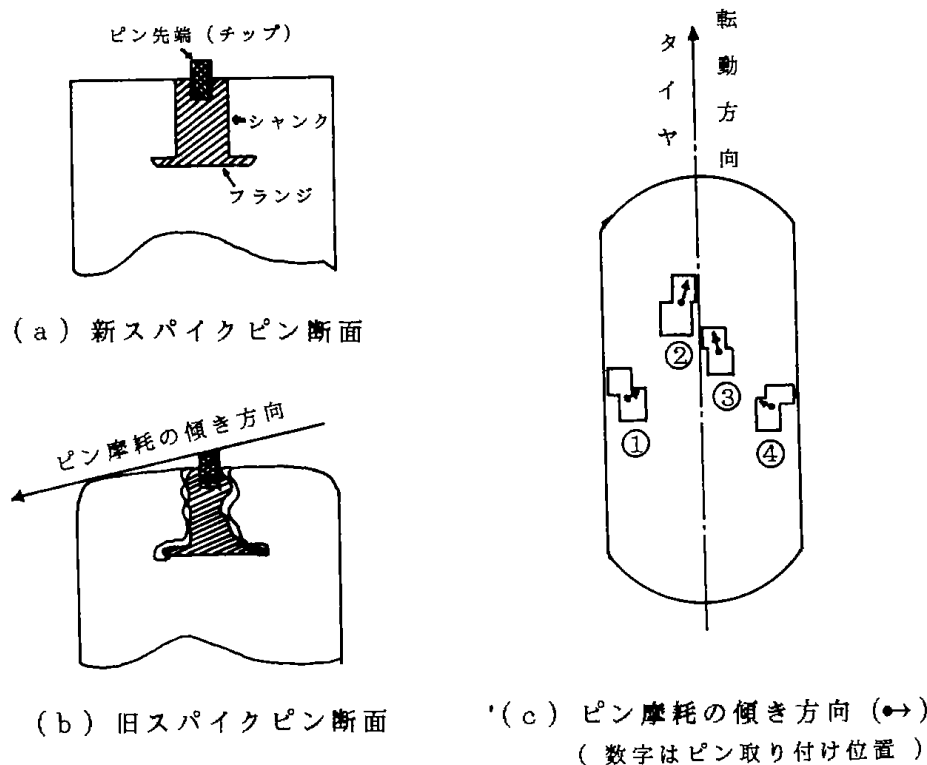


図 I-1 タイヤに装着したスパイクピンの摩耗の傾き

ん断変形を受ける<sup>2,3)</sup>とすることとピン摩耗方向が一致している。

また写真 I-7 のピンの摩耗の傾きを図 I (b) にも示したが、ピンの打ち込んである同じゴムブロック前方のエッジ部とピン摩耗が一致するようである。それとともにピン摩耗の傾く方向の前後のトレッドゴム表面に近いほど摩耗が大きくなっている。

#### I-3-4 トレッドゴムブロックの圧縮特性

新旧スパイクタイヤ (写真 I-2) から測定しやすいピン位置②, ③のゴムブロックを切り出した試料 (写真 I-3, 写真 I-4) について、写真 I-8 に示した試験装置で圧縮試験を行い、圧

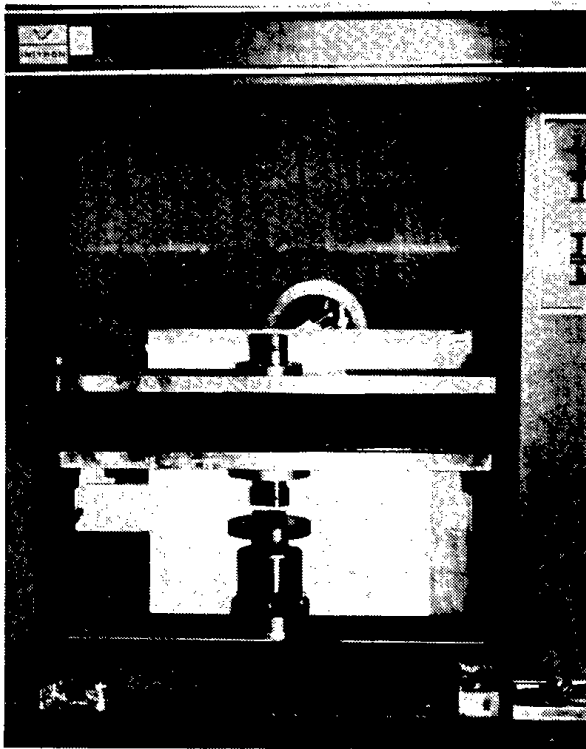


写真 I-8 ゴムブロックの圧縮試験

縮荷重に対するゴムブロックの変形量を測定した。但し、ピン位置①, ④のゴムブロックの測定はショルダー部のためバラツキが大きく測定が困難で除外した。

#### I-3-4-1 新タイヤのゴムブロックの圧縮特性

新タイヤの位置②, ③から切り出したゴムブロックについて、スパイクピンの有無による圧縮試験結果を図 I-2 に示す。

図 I-2 から、ピン有りゴムブロックのゴム変形量は圧縮荷重が20kgf まで大きいですが、それ以上

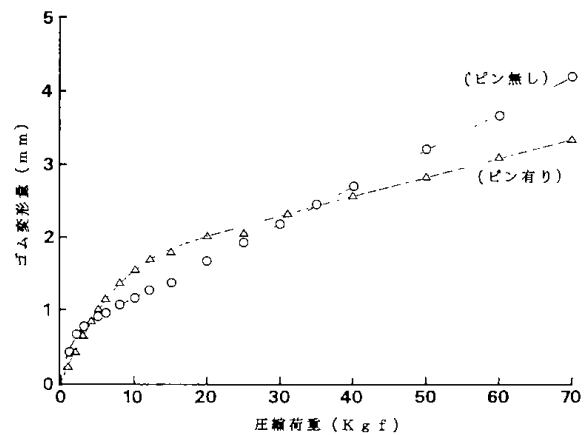


図 I-2 新スパイクタイヤゴムブロックの圧縮特性

では変形量が少ない。一方、ピン無しゴムブロックのゴム変形量は 5 kgf まで前者とほぼ同じであるが、圧縮荷重をさらに増加するとゴム変形量と圧縮荷重の関係は一次関数的な増加する。35 kgf 以上ではピン有りゴムブロックよりもゴム変形量が大きくなる。

#### I-3-4-2 旧タイヤゴムブロックの圧縮特性

旧タイヤゴムブロック (3万 km 以上走行) スパイクピンの有無による圧縮試験結果を図 I-3 に示す。

新タイヤ (図 I-2) で見られたスパイクピンの有無によって、圧縮荷重の増加に伴って、ゴム

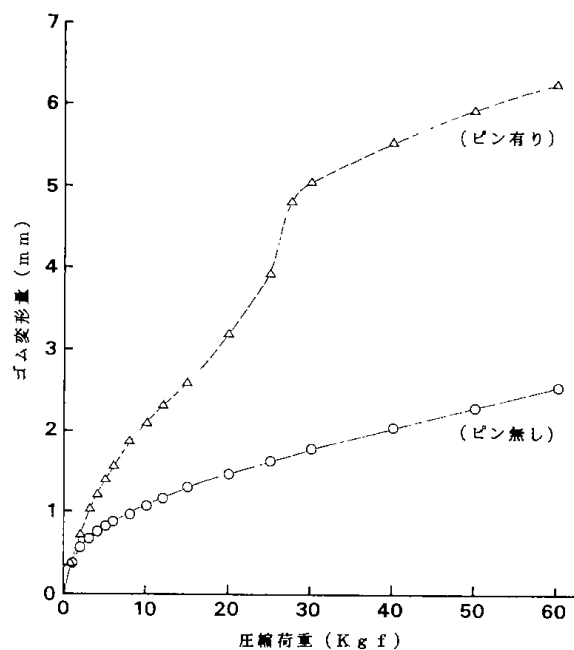


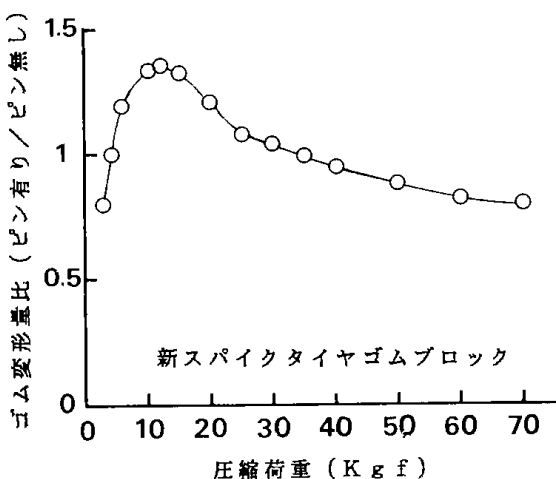
図 I-3 旧スパイクタイヤゴムブロックの圧縮特性

変形量が逆転する領域が旧タイヤでは見られない。ピン有りゴムブロックの場合、圧縮荷重が25~30kgfでゴム変形量が一時急増し、さらに荷重が増すとゆるやかなカーブで増加しており、50 kgfのところではピン無しゴムブロックのゴム変形量の約3倍の値を示している。これは旧タイヤのピン突出し量（走行によるトレッドゴムの損耗分を含む）が4~5 mmと新タイヤの0.8~1.5 mm よりもかなり大きい突出し量を示しているの  
 で、突出し量の分がゴム変形量に加わるためと考えられる。また、ピンとゴムとの接触部分が摩耗で少なくなっており、そのため圧縮試験の途中まではピン先端部（チップ）に加わる荷重がピンのフランジ部とゴム接触部に集中し、圧縮荷重が小さいわりにはゴム変形量が大きくあらわれたものと考えられる。従って、突出しピン部分だけ圧縮中はゴム変形量も大きい  
 がピンとゴムブロック全体が圧縮されるようになるとゴム変形量も次第に小さくなる  
 ことがわかる。これに対し、ピン無しゴムブロックでは圧縮荷重がゴムブロック全体にかかるため、単位面積当りの荷重はピン有りゴムブロックに比べて小さく、そのためゴム変形量は逆に小さくなっている。

### I-3-4-3 新旧タイヤのピンの有無による圧縮特性への影響

新タイヤの圧縮荷重とゴム変形量との関係をピン有り／ピン無しの比で検討した。

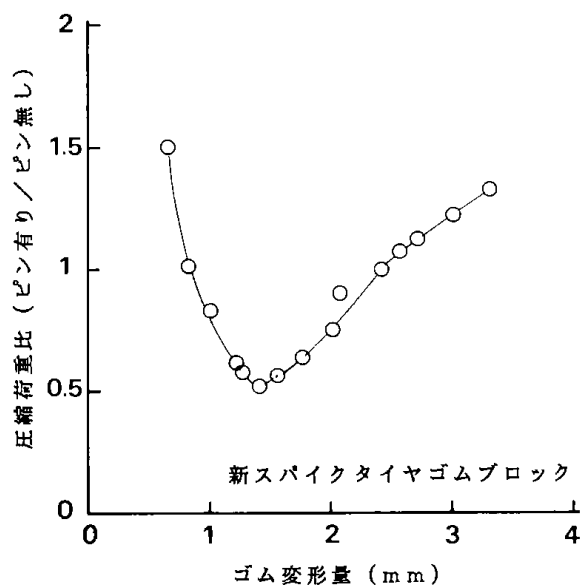
図I-4はゴム変形量比（ピン有り／ピン無し）と圧縮荷重との相関を示した。ここでは圧縮荷重の小さい範囲（12kgf前後）でスパイクピンの有無によってゴム変形量の比が最大になることを示し



図I-4 圧縮荷重とゴム変形量比

ている。従って、新タイヤではスパイクピンを打ち込むことによってゴム変形量に影響を与えているのは圧縮荷重の小さい領域のところであることがわかる。

図I-5はゴム変形量と圧縮荷重比（ピン有り



図I-5 ゴム変形量と圧縮荷重比

り／ピン無し）との関係を示した。この図からゴム変形量が1.3mm程度のところで圧縮荷重比が最小（約0.5）となり、その後ゴム変形量の増加とともに圧縮荷重が大きくなっている。その結果、ピンを有することによって、ゴム変形量の小さい範囲では圧縮荷重比が最小値を示しており、ピン突出部がゴム周辺部を押し付けるだけのため、ピン無しで最初から押し付ける場合より小さい値を示した。しかし、ゴム変形量が大きくなるとゴムブロック全体とピンの両方が同時に押し付けられるためピンの有り方が逆に圧縮荷重比が大きくなることを示している。

次に、旧タイヤ（3万 km 以上走行）のピンの有無による圧縮荷重とゴム変形量との関係をピン有り／ピン無しの比で検討した。

図I-6は、ゴム変形量比（ピン有り／ピン無し）と圧縮荷重との相関を示した。この図から圧縮荷重30kgfまでゴム変形量比が約3倍と増加を示しピンの影響が見られる。その後、圧縮荷重の増加と共に減少傾向を示した。

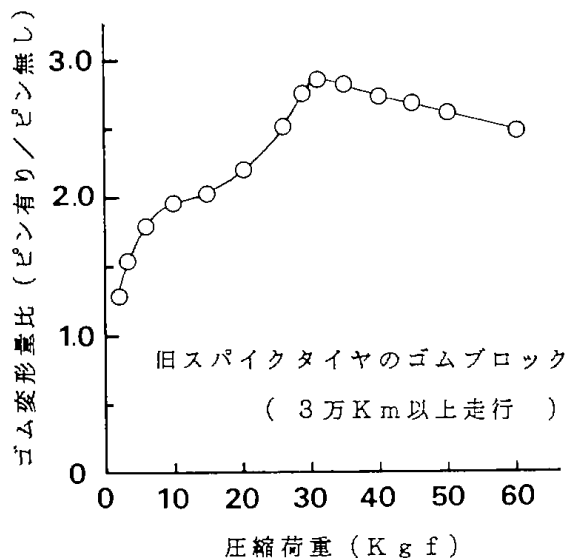


図 I-6 圧縮荷重とゴム変形量比

このことから旧タイヤではピンを有することによって、圧縮荷重の大きいところまでゴム変形量に影響を与えていることがわかる。

図 I-7 は、圧縮荷重比(ピン有り/ピン無し)とゴム変形量との相関を示した。この図から、ゴム変形量 1~2.5mm では圧縮荷重比 0.25~0.35 前後と小さい値しか示しておらず、この程度のゴム変形量ではピンの圧縮荷重への影響は小さいことがわかった。しかし、図 I-3 に示すようにピン有りの影響が見られるのはゴム変形量が大きく

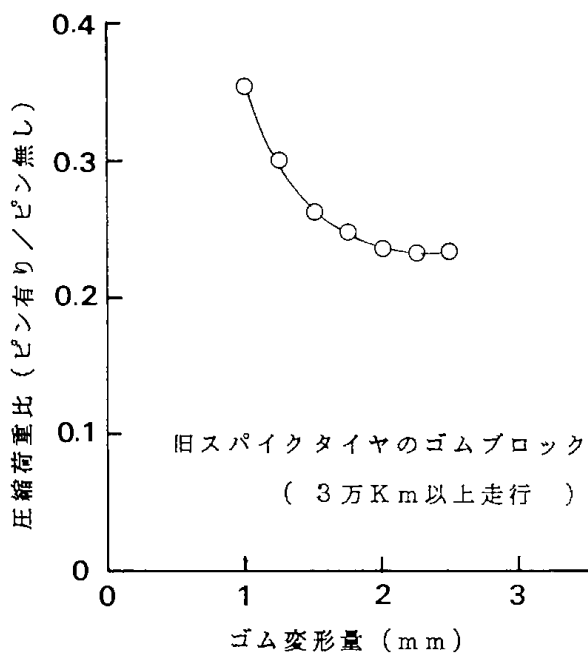


図 I-7 ゴム変形量と圧縮荷重比

なるにつれて圧縮荷重比に大きな影響が出ている。

図 I-4 ~ 7 の結果から、新旧タイヤゴムブロックのピン有無による圧縮荷重とゴム変形量を比べるとタイヤのプライ数による構造上の違いはあるが、ピン無しゴムブロックでの新旧タイヤの変化は類似している。しかし、ピンを有する新旧タイヤでは旧タイヤで突出量の大きいピンの方が新タイヤのピンに比べて、ゴム変形量が大きくなると圧縮荷重も大きな影響が見られることから、このようなタイヤで路面走行した場合にはスパイクピンによって路面の表面に大きな荷重が作用し、路面損傷を大きくする原因になることが十分考えられる。

#### I-3-5 新旧タイヤに装着したピンの圧縮特性

写真 I-9 は、新旧タイヤに装着されたスパイクピンの突出部分をトレッドゴム表面まで押込んだ時に得られる圧縮荷重とその時のゴム変形量を測定するための装置である。この試験装置にタイヤを取り付けた架台を乗せて、上部クロスヘッドによってタイヤのピン 1 本に荷重が負荷するように約 15mm 径の金属丸棒を上部圧盤に当てて測



写真 I-9 スパイクピンの圧縮試験

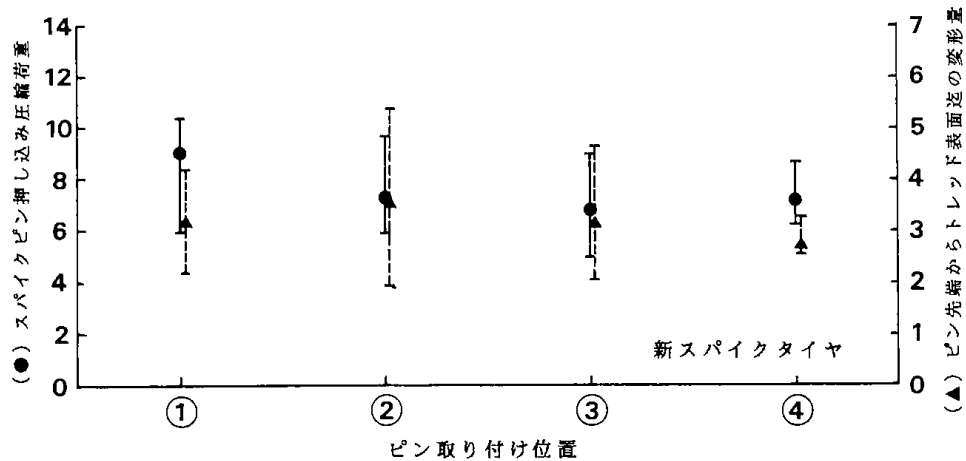


図 I-8 スパイクピンの取り付け位置による圧縮特性

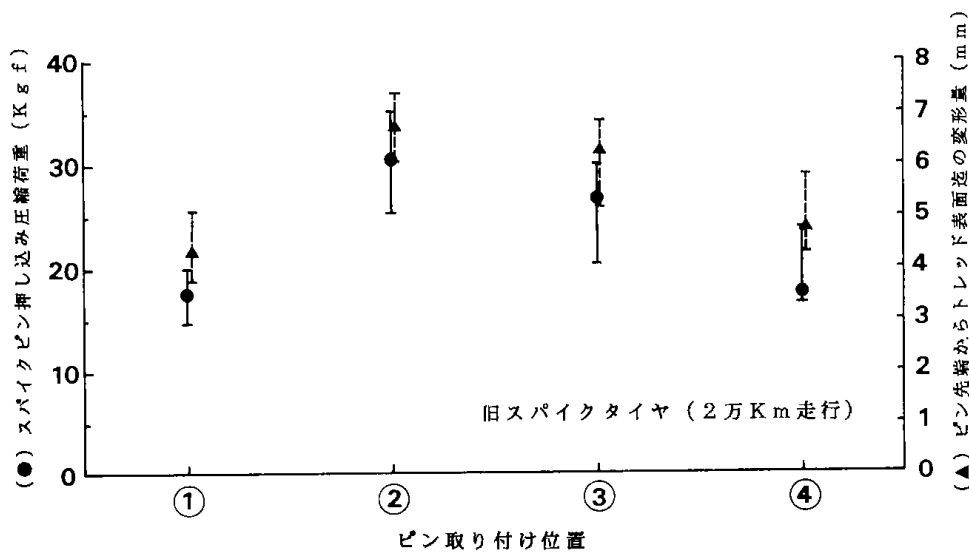


図 I-9 スパイクピンの取り付け位置による圧縮特性

定した。但し、新旧タイヤの空気圧は $1.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ である。

図 I-8 は、新タイヤのピン打ち込み位置（写真 I-9 の数字で表わす）での突出したピン先端をトレッドタイヤ表面まで押込んだ時のピン 1 本当りの圧縮荷重とゴム変形量を示す。

この図から、ピン 1 本当りの圧縮荷重は  $5 \sim 10.5\text{kgf}$  であり、ゴム変形量が  $2.5 \sim 3.5\text{mm}$  程度の変形しかしないために圧縮荷重も小さい値を示した。

図 I-9 は、実路 2 万 km 走行した旧タイヤのピン 1 本当りの圧縮特性を示す。タイヤはタイヤ幅  $5.60'$  で 6 プライであり、新タイヤと異なるが、突出し寸法の影響を推測するため使用した。

この図から、ピン 1 本当りの圧縮荷重はピン位置 ②、③ では  $25 \sim 35\text{kgf}$  に対して、ピン位置 ①、④

では  $15 \sim 24\text{kgf}$  であった。ピン取り付け位置によって大きな相違が見られた。また、ゴム変形量もタイヤ中心に近いピン取り付け位置 ②、③ ほどゴム変形量が大きくなっている。

これは長時間の路面走行によってタイヤのトレッドゴム表面の摩耗のほか、ピン打ち込み部の突出しが大きくなっているためである。

図 I-10 は 3 万 km 以上走行した旧タイヤのピン 1 本当りの圧縮特性を示す。

3 万 km 以上走行したタイヤではピン先端からトレッド表面までの変形量は 2 万 km 走行のタイヤより大きくなっているが圧縮荷重は逆に小さくなっている。

このことから、ピン先端をトレッド表面まで圧縮した場合には、走行路面でのスパイクピンの効果は 2 万 km 走行のピンの圧縮荷重の方が 3 万

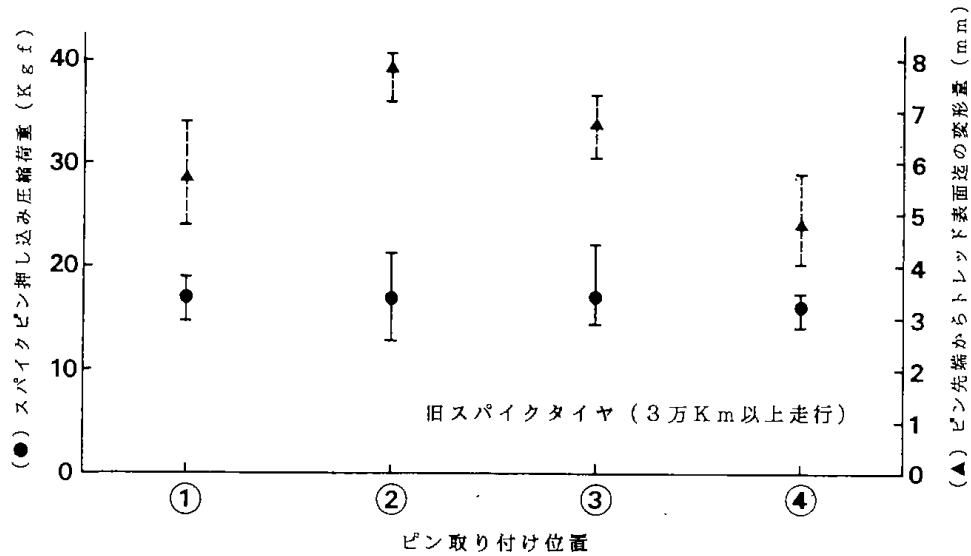


図 I-10 スパイクピンの取り付け位置による圧縮特性

km 以上走行のものより大きく、ピンが路面に有効に作用していることが考えられる。従って、ピンの突出し寸法を考える場合には雪氷路面に有効に働くピンの最適突出し寸法と突出力の考慮が必要である。また、図 I-6 に述べたようにピンを有する旧タイヤのゴムブロックの圧縮特性のようにピンをトレッド表面以下に押込んだ場合にはゴム変形量が多くなり、突出し寸法の増加と共に圧縮荷重も急激に増加して、雪氷路面だけでなく舗装路面まで損傷を与えることが考えられる。

図 I-11 および図 I-12 は、旧タイヤのスパイクピンの取り付け位置による圧縮特性への影響。

両図から、圧縮荷重とゴム変形量の値がピン取

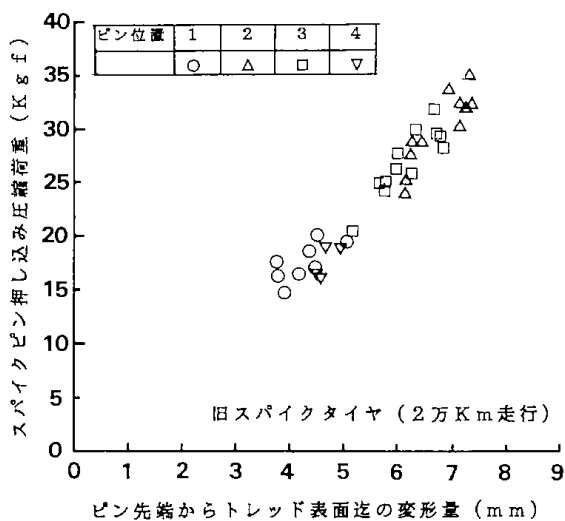


図 I-11 スパイクピンの取り付け位置による圧縮特性

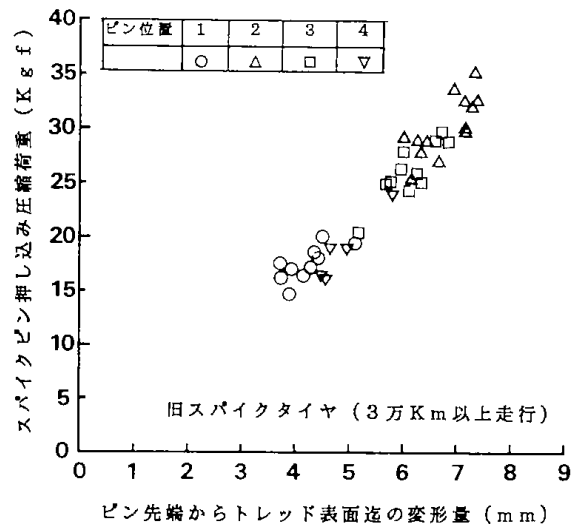


図 I-12 スパイクピンの取り付け位置による圧縮特性

り付け位置②、③と①、④で大きく分けられる。これはピン位置②、③はタイヤ中央部に位置し、圧縮荷重がほぼ垂直に当たるのでスパイクピン底部（フランジ部分）のゴムへの接触が大きいためゴム変形量と圧縮荷重が大きい値を示している。ピン位置①、④ではピンがタイヤのショルダ一部に近くあり、圧縮荷重がピン全体よりピンおよびゴムトレッドの一端に接触してフランジの一部に荷重が集中してゴム変形するために圧縮荷重が小さい値を示している。このことは図 I-8 ~ 10 のピン位置①、④の場合も同じことが考えられる。しかし、実際の走行タイヤでは輪荷重があり、トレッド表面全体が一体で変形するために、ピンの



接触もピン1本の場合とかなり違うことを考慮する必要がある。

#### I-4 結 言

スパイクタイヤのピンおよびピン周辺部のゴム挙動を把握するため、新旧スパイクタイヤのピン全体の形状比較、タイヤより切り出したゴムブロックのピンの有無による圧縮特性、タイヤに装着したピン1本当りで圧縮試験を行った。その結果、次のことがわかった。

- (1) スパイクピンを装着して走行したタイヤ（2万 km 走行）ではピンの取り付け位置によって、ピン全体およびゴム周辺部の摩耗状態に2つの大きな相違が見られた。すなわち、トレッド中心部の多くのスパイクピンではタイヤの転動方向のピン前部（但し、シャンク及びゴム周辺部はピン摩耗の向きと逆である。）に摩耗するものとタイヤショルダーの1部のスパイクピンでは全体が平均して摩耗するものがあった。
- (2) 新旧スパイクタイヤより切り出したゴムブロックの圧縮試験では、新タイヤゴムブロックのピンの有無によって、圧縮荷重約12kgfでゴム変形量比が最大になった。旧タイヤ（但

し、3万 km<sup>2</sup>以上走行）では圧縮荷重が約30 kgfにゴム変形量比が最大となることがわかった。

- (3) 新旧スパイクタイヤに装着したピン1本をトレッド表面まで圧縮した時のゴム変形量と圧縮荷重は、2万 km 走行タイヤの方が3万 km 以上走行タイヤよりゴム変形量は若干小さいが圧縮荷重が大きく路面に有効に作用していることがわかった。
- (4) 新旧スパイクタイヤの転動作用によるピン全体の摩耗形状変化とピン周辺部の圧縮特性等の影響を把握することができた。従って、ここで得られた基礎データを基にして、スノースパイクタイヤの低公害化に必要なピン周辺のバイヤス機構の開発が期待できる。

#### 参考文献

- 1) 鈴木良和, 広木栄三, 窪田 大, 後藤藤太郎: 寒地技術シンポジウム'85, 講演論文集(1985年11月), 413
- 2) 酒井秀男, 自動車技術, Vol.35, No.4(1981), 419
- 3) 景山克三ほか, JARI 研究報告 No.58 (1978)

## 第II章 低公害スパイクピン素材の開発

鈴木 良和, 広木 栄三, 窪田 大, 後藤藤太郎

### II-1 緒言

これまで使われてきたスパイクピンの先端用素材は非常に硬い超硬合金である。これが冬期間自動車のタイヤに装着されることによって露出舗装路面が削り取られ、舗装道路の損傷と車粉公害を引き起す原因を成してきた。これを防ぐ方法として、スタッドレスタイヤを使ったり、ピン素材を軟かくすることが考えられている。スタッドレスタイヤについてはまだ十分なデータがそれわず、安全性についてスパイクタイヤへの信頼性が強いのが現状である。また、ピン素材の改良についても、舗装路面を傷めず且つ安全性が保持できる相矛盾した要求に対して満足したものはまだ得られていない。

本研究の目的は、従来の超硬合金から成るピン素材に対し、舗装路面を傷めないことによって車粉公害を防ぎ且つ安全性が確保できる素材の開発を目指したものである。本研究では、まず鉄ベースに各種セラミックス粒子を分散させた複合材を試作し、その物性試験から適当な素材の探索を行った。次にこれらの結果を基に、比較的摩耗強度の

ある  $Al_2O_3$  と  $ZrO_2$  を対象にして、これら粒子を鉄粉に分散させて溶結体を試作し、浸炭を施して焼入れすることによってマトリックスを硬くしたピン素材の耐摩耗性について検討した。さらに、マトリックス鉄に  $SiO_2$  及び  $Al_2O_3$  の微粒酸化物を添加することによって、耐久性を向上させる可能性についての検討を行ったので、これらの結果について報告する。

### II-2 実験方法

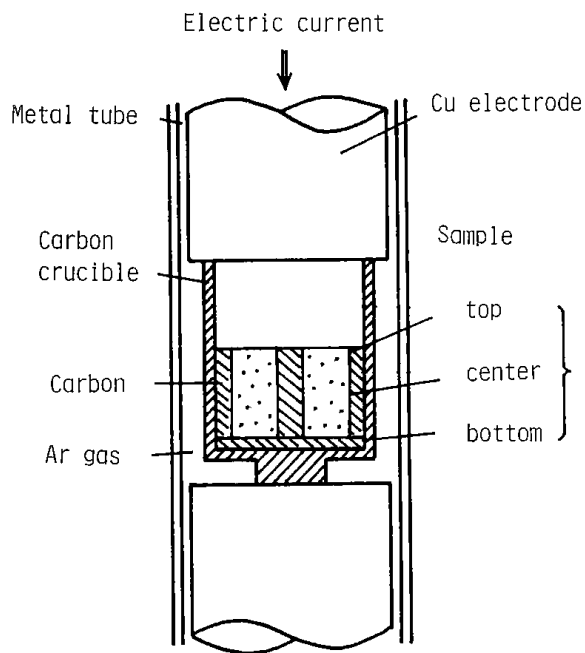
実験に用いた試料は、セラミックスの素材として市販の溶解用ルツボ材の  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $Si_3N_4$  並びにマグネタイト鉱石と石炭灰、さらに試薬である微粒の無定形  $SiO_2$  と  $\gamma-Al_2O_3$  のそれぞれであり、カルボニル鉄粉をベース金属とした。これらの化学成分は、表II-1に示す。それぞれのセラミックス材を粉碎して節分け、平均粒径約 10, 50, 65, 85, 125 $\mu m$  のものを準備した。これらをカルボニル鉄粉に 5, 10, 20, 30wt % それぞれ混合した。

試料の作製は図II-1に示すような直径19

表II-1 セラミックスとベース金属の化学組成

Ceramics	Composition (wt %)											
	$Al_2O_3$	$MgO$	$ZrO_2$	$Si_3N_4$	$SiO_2$	$CaO$	$Fe_3O_4$	$TiO_2$	$V_2O_5$	$Fe_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$
$Al_2O_3$	99				0.6							
$MgO$		98				1						
$ZrO_2$			93			5						
$Si_3N_4$					97							
Magnetite ore	0.22	0.20			0.15	0.05	98.3	0.19	0.20	0.7		
Coal ash	16.5	11.2			41.5	22.1		0.8		3.4	0.6	1.7

Base metal	Element (wt %)							
	O	P	S	C	Ni	Si	Mn	Mo
Carbonyl iron	0.14	0.001	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01

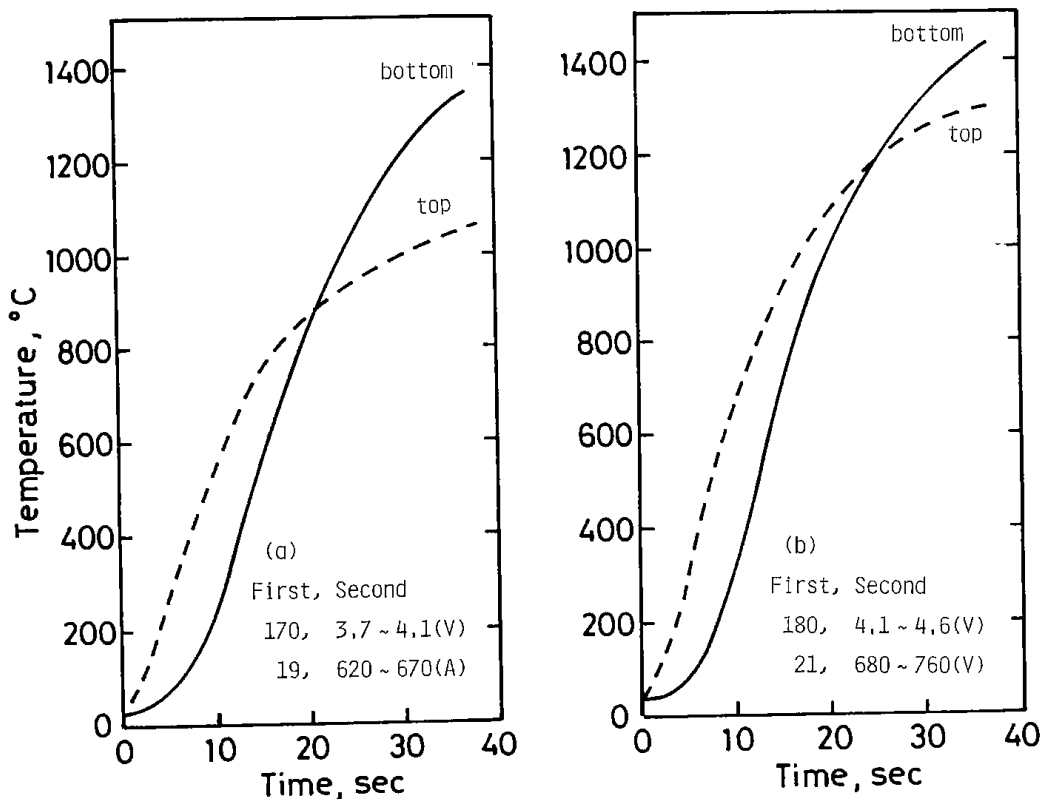


図II-1 通電加熱装置

mm, 高さ10mmのカーボンに径4mmの孔を数個あけたものを準備し、これにセラミックスと鉄粉の混合粉末を充填してカーボン坩堝に入れ、Arガス中で通電加熱した。加熱条件は、図II-2に

示すように一次電圧170Vと180Vの二つの条件で行い、この時の二次電流は平均650Aと720Aになった。この場合の通電時間と温度変化は図にみられるように試料上部と下部の昇温速度が異なり、途中で交叉しているが通電後30秒以降でいずれも試料下部の方が高温になることが分る。なお、通電昇温で装置のストッパーが入る37秒のところで170Vでの試料中心温度は約1200°C、180Vの場合は約1350°Cになる。これらの試料の浸炭は、木炭の粉末に試料を埋めて窒素中1100°Cで3時間加熱して行い、その後窒素中で850°Cに加熱してから水中で急冷することによって焼入れを行った。

摩耗試験は、試作試片の先を37~44μmの粗さのエミリペーパーを張り付けた径250mmφの回転盤の上に当てて、1kgの荷重をかけながら200rpmの回転速度で15min間行い、試験前後の試片の重量変化及び長さ変化から摩耗量を求めた。さらに、これらの試片をスパイク先端に取り付けてタイヤに装着し、実車走行による試験から摩耗量を求め、上記ピンオンデスク型の試験による結果と比較検討した。



図II-2 通電加熱による試料の温度変化

各試片の硬さはロックウエルAスケールで測定し、さらに試片断面縦方向の硬さ分布はマイクロビッカースで荷重を200gにして測定した。

試料形面の観察及び分析は、光学顕微鏡並びにEPMAによる面分析で行った。

## II-3 実験結果及び考察

### II-3-1 各種セラミックス粒子を鉄ベースに分散させた複合材

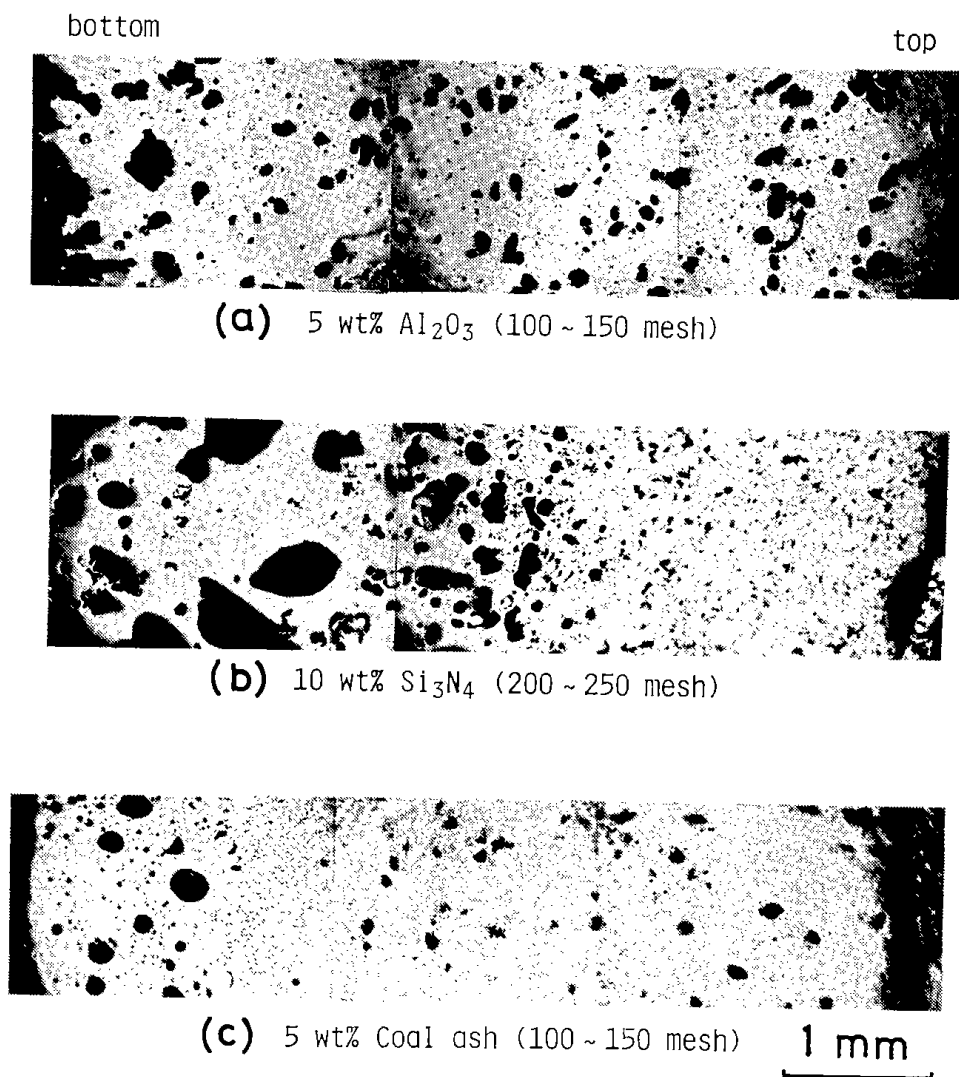
#### II-3-1-1 試料の断面組織の観察

各種セラミックス粒子を分散させた鉄ベースの複合材の断面を光学顕微鏡で観察し、それぞれ比較検討した。その結果、セラミックスがマトリクス全体にほぼ均一に分散しているのは $\text{Al}_2\text{O}_3$ 並びに $\text{MgO}$ を含むものにみられ、試片両側の組織が異なっているものの中で片側にマトリクスの鉄ベースが増えると同時に空孔の発達しているものが $\text{Si}_3\text{N}_4$ 並びに $\text{ZrO}_2$ を含むものに、又石炭灰並び

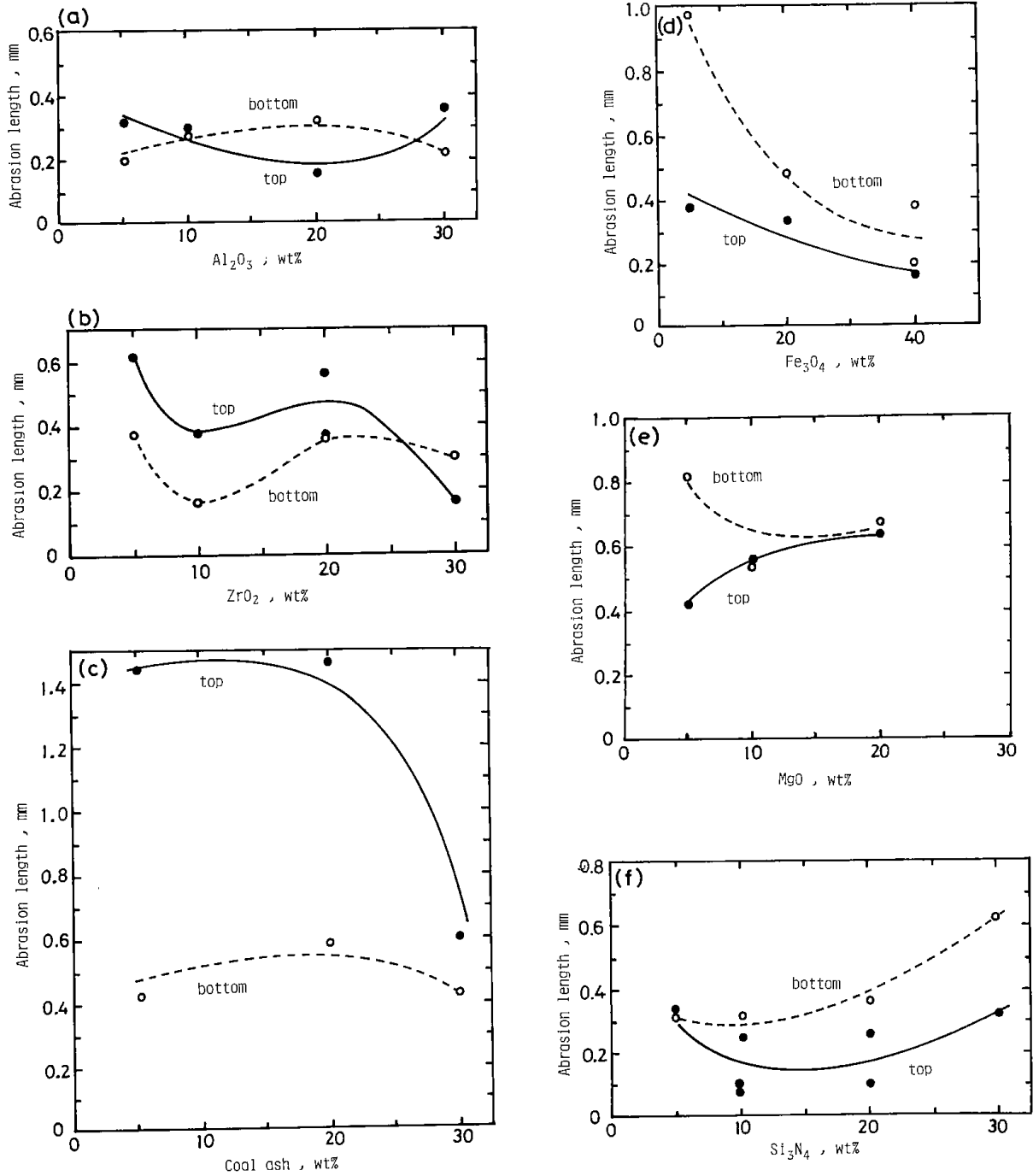
にマグネタイト鉱石を含むものには大きな空孔がみられない。これらの例については写真II-1の中に示すとおりである。このように相違がみられるのは、試料加熱時に試料中央の測定温度に比べ上部(top)は温度が低く、下部(bottom)は温度が高いため、それぞれのセラミックスについて温度勾配による反応への影響が異なることを示している。

#### II-3-1-2 摩耗試験

鉄ベースへの各種セラミックスの混合量による摩耗強度への影響について試験した結果を図II-3(a~f)にそれぞれ示す。試片は温度の低いtop側と、温度の高いbottom側について試験を行った。この結果、セラミックス混合量の影響が明瞭でないものとして、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及び $\text{ZrO}_2$ をそれぞれ含むものが、また混合量の増加に伴ない耐摩耗性を示すものとしてマグネタイト鉱石及び石炭灰を含むtop側、混合量を多くしても耐摩耗性にな



写真II-1 スパイクピン素材の断面写真

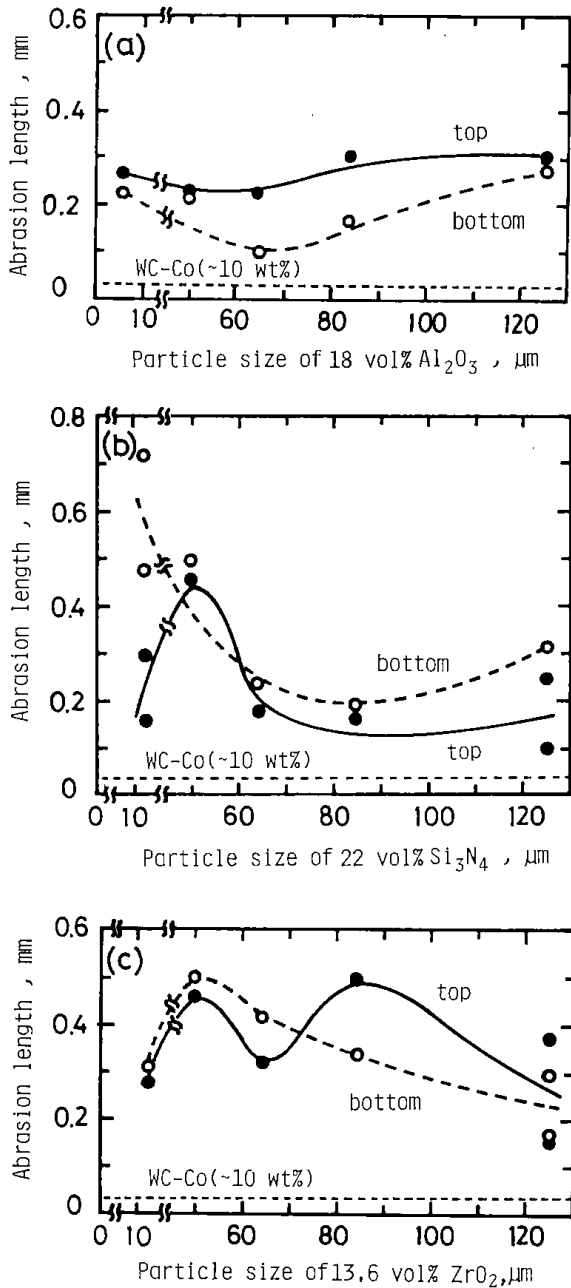


図II-3 セラミックスを含む試作ピンの室内試験による摩耗長さ

- (a)  $Al_2O_3$ 含有 (b)  $ZnO_2$ 含有 (c) 石炭灰含有  
(d) 磁鉄鉱含有 (e)  $MgO$ 含有 (f)  $Si_3N_4$ 含有

らないものは  $MgO$  および  $Si_3N_4$  をそれぞれ含むものにみられる。なお摩耗長さをそれぞれ比べると、混合量や加熱時の温度勾配による影響の少ない安定した耐摩耗性を示すものとして、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ 、 $ZrO_2$  をそれぞれ含むものであることが分かる。

次にこれら3種のセラミックスについて、粒径の違いによる摩耗性への影響を調べた。その結果を図II-4に示す。それぞれ13.6~22vol%のセラミックスを含む試片について検討したものであり、比較するため市販の超合金製スパイクピンの摩耗量を点線で示してある。粒径の影響は、 $Al_2$



図II-4 ピンの摩耗特性に及ぼす含有セラミックスの粒度依存性  
(a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有 (b) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>含有 (c) ZnO<sub>2</sub>含有

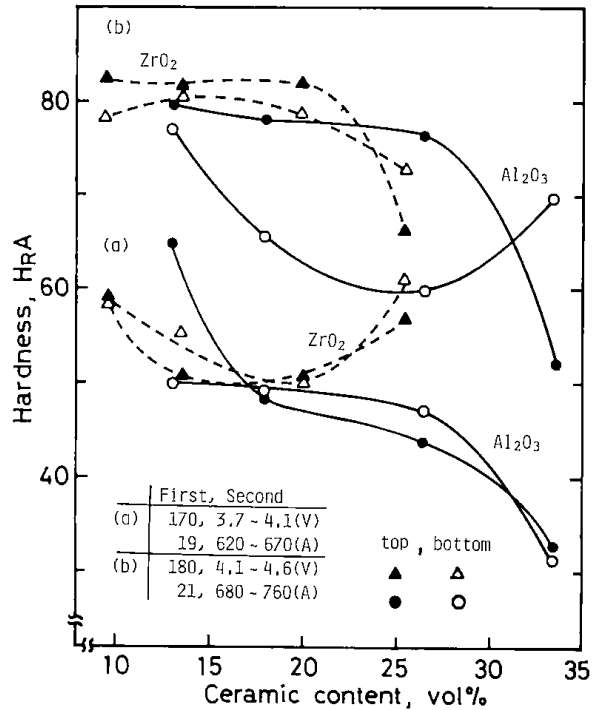
O<sub>3</sub>とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の場合60~70μmのところと比較的耐摩耗性を示している。但し、これは市販のスパイクピンに比べ摩耗量が4~10倍に達しており、制動力と耐久性の点でさらに検討が必要である。

### II-3-2 鉄ベースを浸炭焼入れした鉄-セラミックス複合材

#### II-3-2-1 浸炭焼入れによる硬さと摩耗強度への効果

先に検討した各試料の中で、耐摩耗性の比較的良好なAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とZrO<sub>2</sub>を分散させた試料について

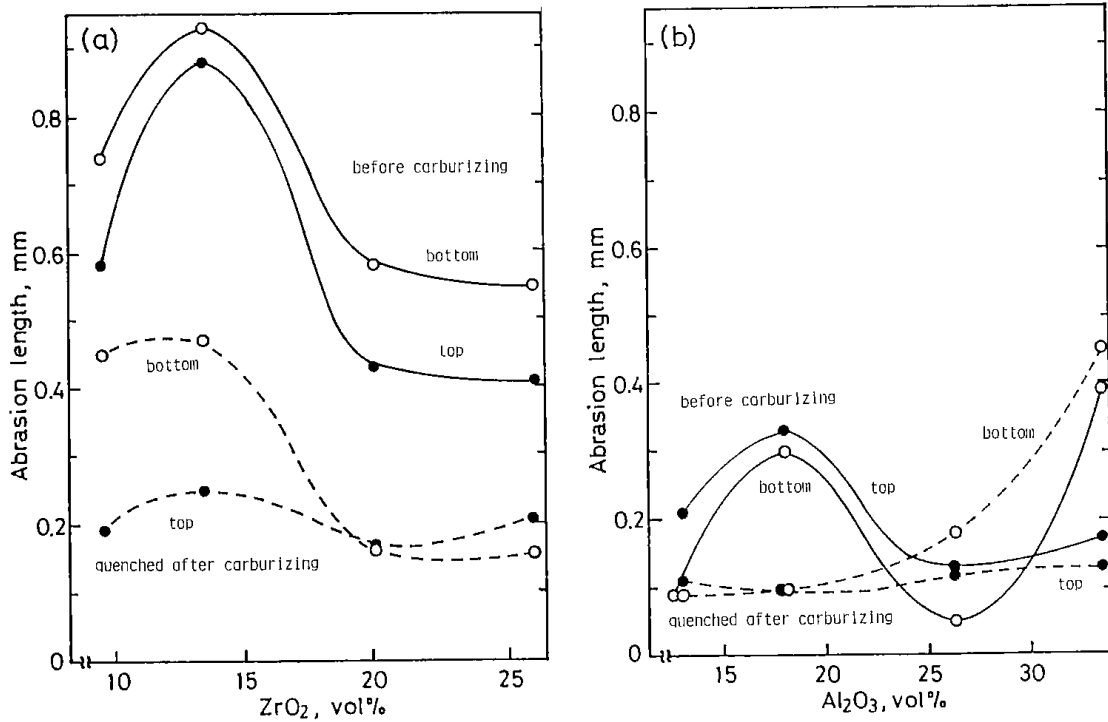
それぞれ準備した。これらセラミックスの混合量による硬さ変化の測定結果を図II-5に示す。こ



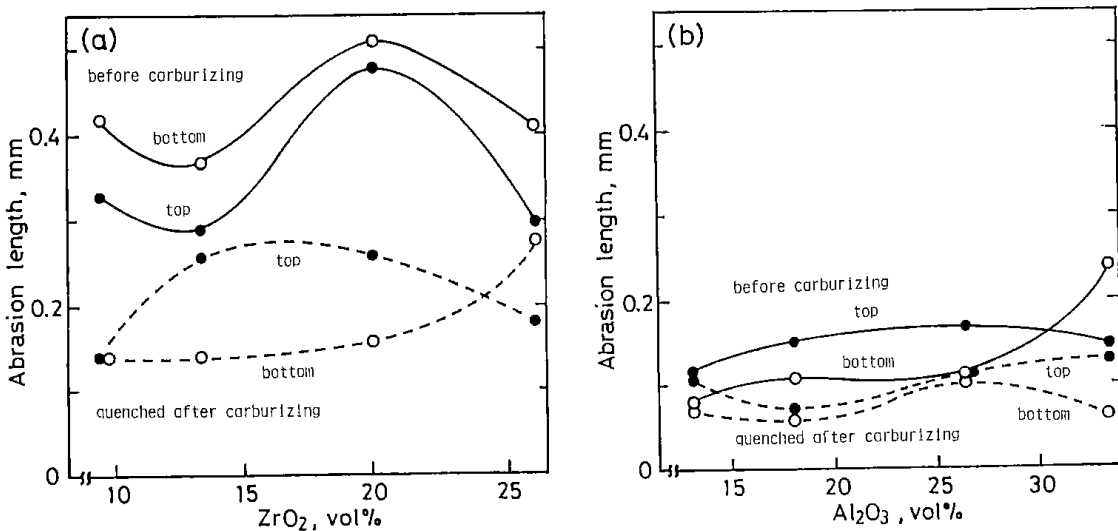
図II-5 セラミックスの混合量による硬さの変化

の結果では180Vで通電した加熱温度の高い試料の方が硬い傾向を示しており、セラミックスの混合量の増加による影響として浸炭焼入れ効果を低下させる傾向がみられる。なお硬さをロックウェルAで測定したのは、市販のスパイクピンである超硬合金の硬さとの比較を容易にするために統一した。ここで試料上部と下部の硬さを比べると、180Vの通電では試料上部が硬く、170Vの通電では逆に上部の方が幾分軟かい雑向を示している。

次に浸炭焼入れによる耐摩耗性への効果がどの程度みられるか、処理前後のものについて試験した結果を図II-6と図II-7に示す。図II-6から、一次電圧170Vで通電焼結した場合、ZrO<sub>2</sub>の混合量増加に伴い耐摩耗性が多少良くなる傾向がみられ、さらに点線で示されるように浸炭焼入れによる効果が一樣にあらわれている。一方Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>混合の場合、混合量の多いところではほとんどその効果はみられないが、ZrO<sub>2</sub>の場合に比べ全体的に耐摩耗性が良好である。なお試料の上部と下部を比べた場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の未処理の場合を除いて他は下部の方が摩耗し易しことを示している。図II-7には、一次電圧180Vで通電焼結した場合につ



図II-6 170Vで通電加熱した試料の摩耗試験結果

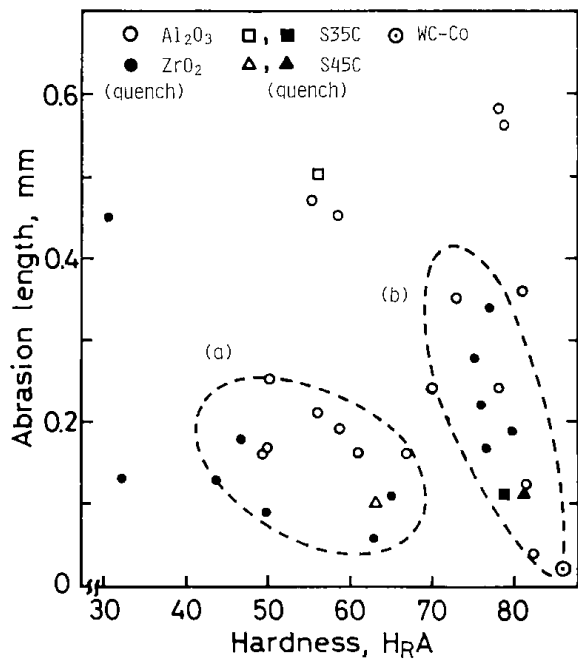


図II-7 180Vで通電加熱した試料の摩耗試験結果

いて示す。焼結温度が低くなる前者に比べ、全体的に耐摩耗性の向上がみられるが、セラミックスの混合量による影響は顕著でない。なお浸炭焼入れによる効果は明らかである。この場合試料上部と下部では、ZrO<sub>2</sub>混合の未処理の場合を除き、他は下部の方が摩耗し難い。

これらの試料の浸炭焼入れによって得られる耐摩耗性と硬さとの相関について図II-8に示す。比較のため市販の超合金、炭素鋼2種類の焼入れ

前後のものについて同図に示す。なお試作試料の浸炭焼入れ前のものについては軟かく、硬さのオーダが低いため図からはずした。これらプロットの分布に注目すると、点線で囲んだ領域で示すように大きな二つの傾向がみられる。ここで硬さと摩耗特性との間に単純な相関関係にならないのは、試料の内部組織に相違があるためと考えられる。

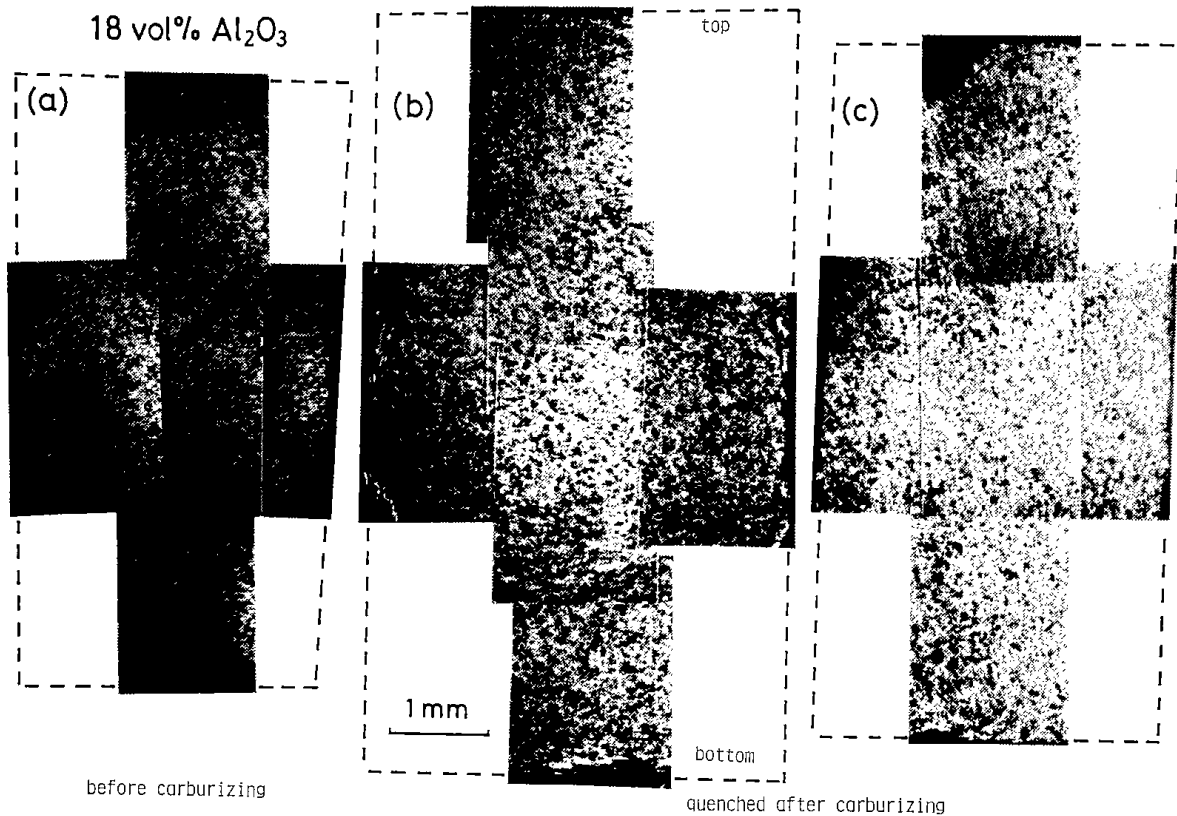


図II-8 硬さと耐摩耗性との相関  
 (a) 170Vで通電加熱  
 (b) 180Vで通電加熱

### II-3-2-2 浸炭焼入れによる試料断面組織について

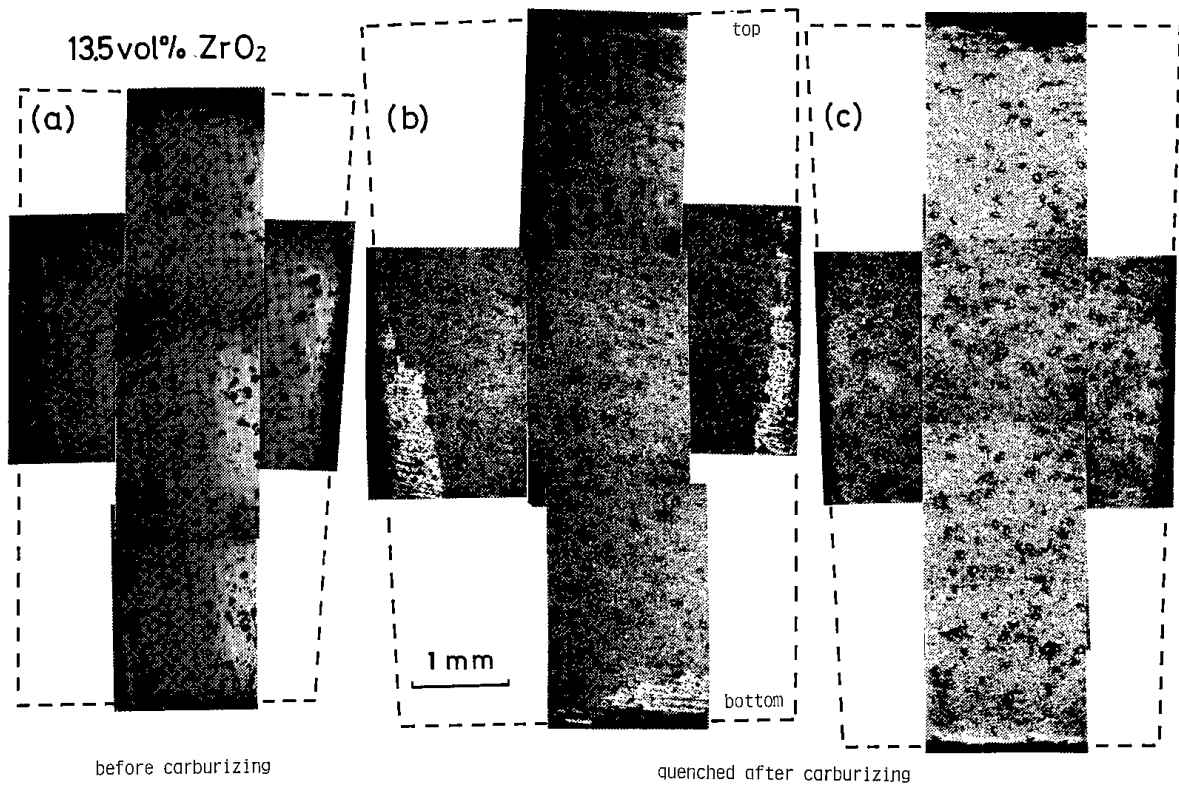
試料断面の観察から、浸炭組織の形態の相違について検討し、硬さと摩耗特性への影替について考察した。写真II-2に、18vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ を鉄に分散させて通電焼結した試料の断面写真を示す。(a)は浸炭焼入れ前、(b)(c)は浸炭焼入れ後のものである。なお(a)(b)は180Vで通電焼結、(c)は170Vで通電焼結している。いずれも  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒子は均一に分散している状態が観察される。浸炭前のものに比べる浸炭焼入れしたものは、マトリックスのFeベースに細かい組織が多くみられる。また、180Vで通電した焼結温度の高い方の試料の両サイドに緻密な層が認められる。写真II-3には13.5vol%  $\text{ZrO}_2$ の場合を示す。(a)は浸炭焼入れ前、(b)(c)は浸炭焼入れ後であり、(a)(b)は180Vで通電焼結、(c)は170Vで通電焼結したものをそれぞれ示す。この場合、浸炭焼入れ後の鉄マトリックスの微細組織が  $\text{Al}_2\text{O}_3$ の場合よりも明瞭であり、さらに焼結温度の高い方の試料下部と両サイドに緻密な層が厚くなっているのが認められる。

写真II-4には  $\text{ZrO}_2$ を分散した浸炭焼入れ試

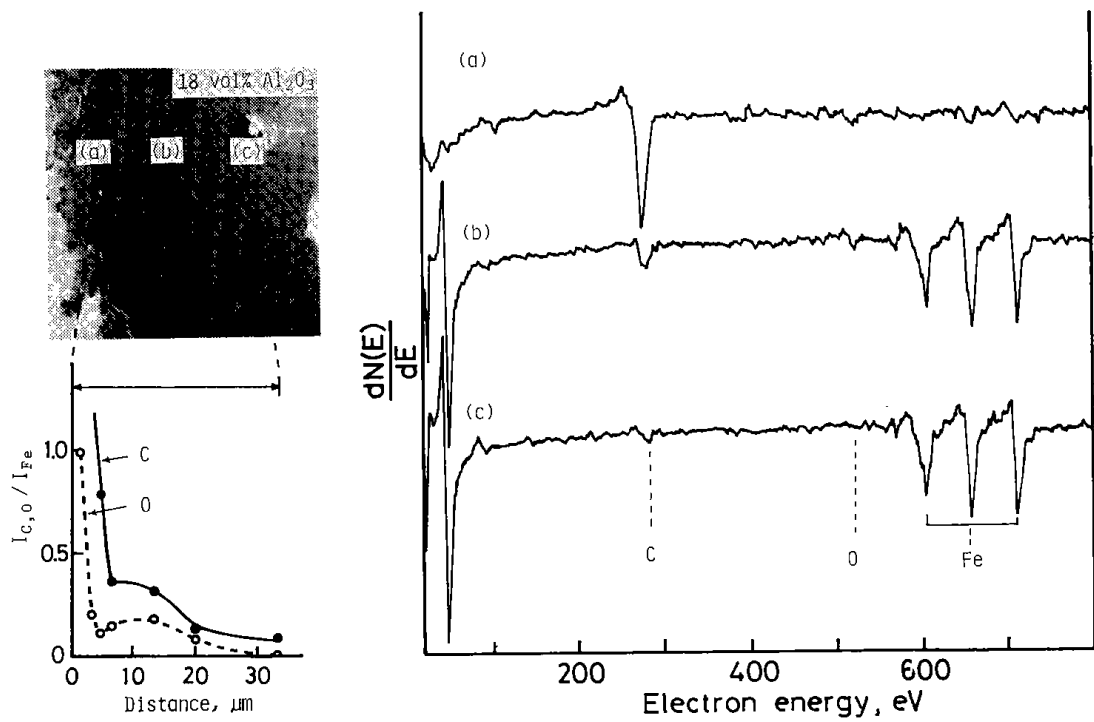


写真II-2 18vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 分散のピン素材の断面組織

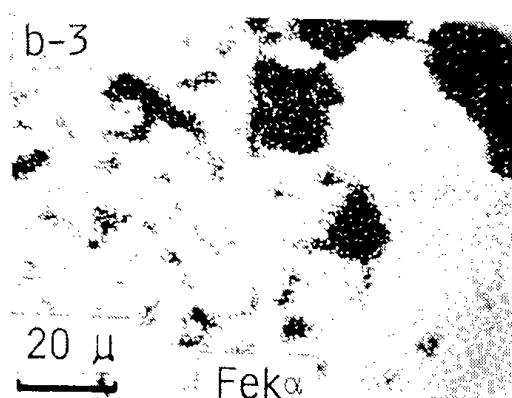
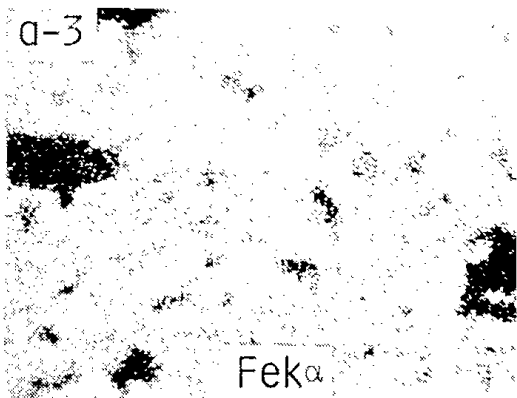
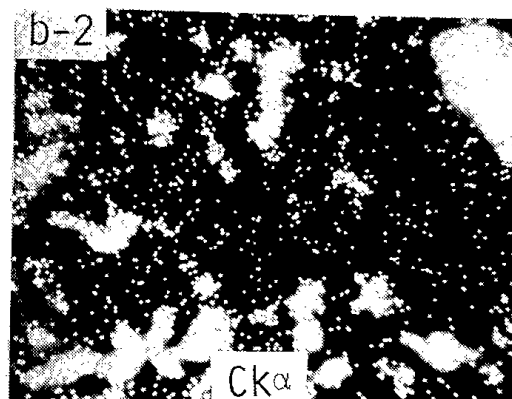
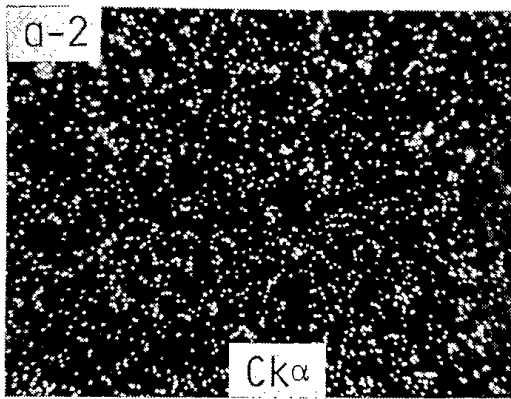
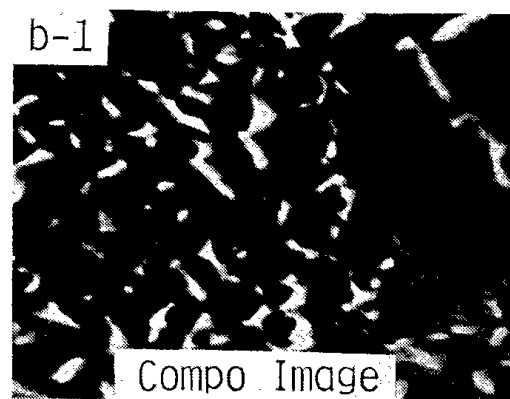
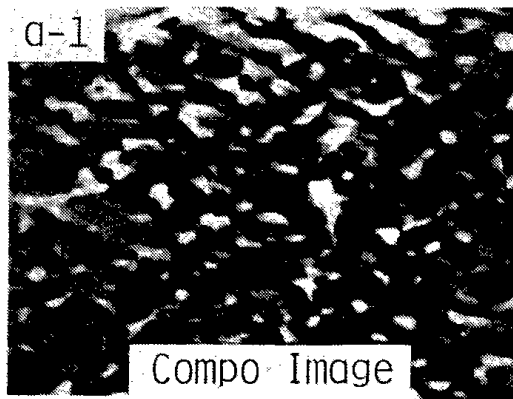
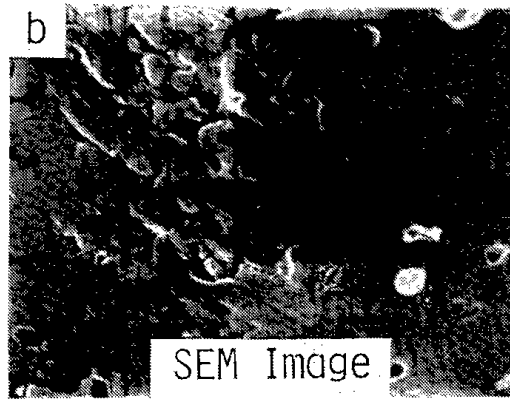
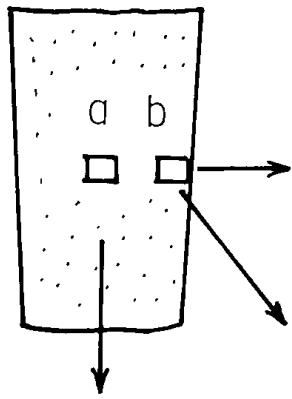




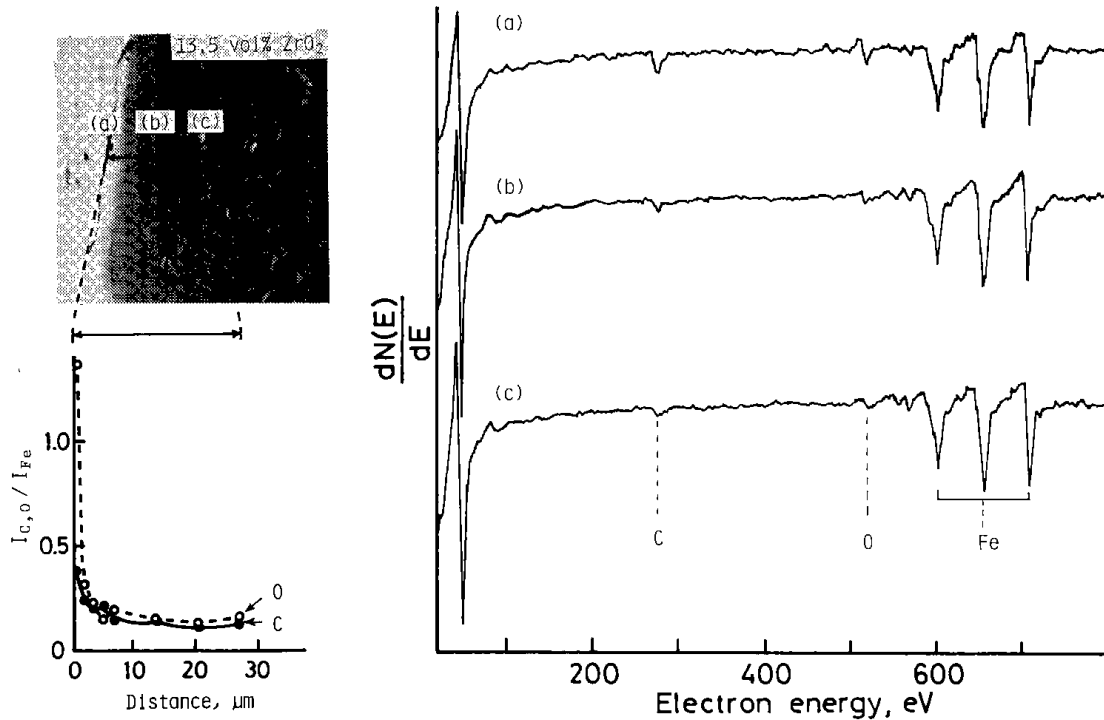
写真II-3 13.5vol%  $ZnO_2$ 分散のピン素材の断面組織



図II-9 18vol%  $Al_2O_3$ 分散のベース鉄の炭素、酸素濃度分布



写真II-4 26vol% ZnO<sub>2</sub>分散のピン素材断面のEPMA分析結果



図II-10 13.5vol% ZnO<sub>2</sub>分散のベース鉄の炭素、酸素濃度分布

料について、端の部分と中央部分について浸炭状態をEPMAで面分析した結果を示す。SEM像で見られる端の緻密な組織のところでは、炭素の検出はほとんど無く、気孔のところに炭素が集まって分布しているのが認められる。この傾向は試料の上下左右の端付近で顕著にみられ、中心部分ではその濃度が非常に低くなっているのが認められる。これはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合も同様であり、また通電焼結が170Vの場合についてもほぼ同様であることが確かめられた。従って先に示した硬さの違いが通電焼結の温度の違いであらわれたのは、浸炭前の焼結の進み具合の差による結果としてあらわれたものと考えられる。

図II-9には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を分散した試料下部の断面を研磨して、緻密な組織のところでは炭素の濃度変化について走査型オージェ分析装置を使って調べた結果を示す。SEM像の黒い線に沿って示した矢印位置(a)点わ(b)点及び(c)点での炭素、酸素及び鉄のオージェピークを測定し、鉄のピークの高さに対する炭素と酸素のピークの高さとの比をそれぞれとり、試料表面からの距離に対するそれらの変化をみると、表面から約10μm以上の深さではそれぞれの濃度が低くなっているのが分かる。図II-10にはZrO<sub>2</sub>を分散した試料についての同

様なオージェ分析結果を示す。この場合、試料表面に近いところでの炭素濃度はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合ほど多くはなく、深さも約5μm以上のところで濃度が低くなっている。

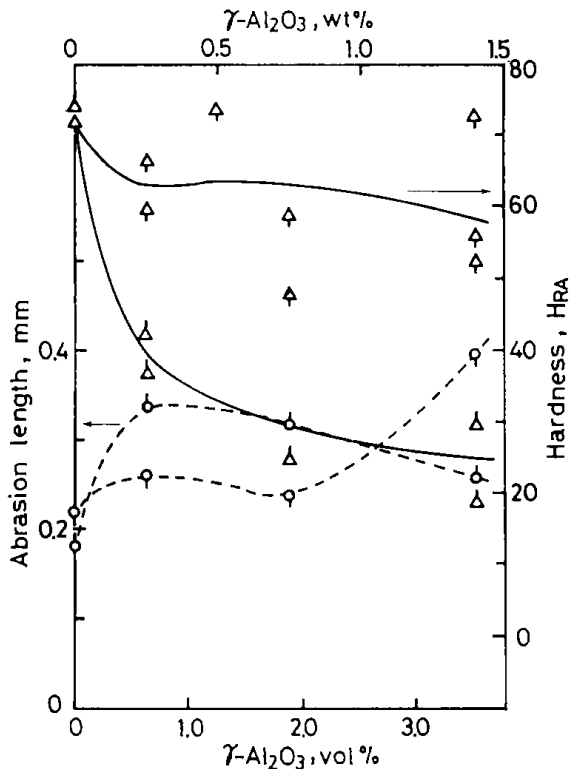
本実験で行った浸炭条件に基づいて純鉄中の炭素の拡散する深さを拡散常数を使って近似的に計算で求めると、理論的には試料表面から約2mmの深さまで炭素が到達することになり、試料のほぼ中心部まで炭素が届く計算になる。実験では焼結による鉄マトリックスの微細な気孔のところに炭素が集まって析出するため、試料表面近くの緻密な層のところでは炭素濃度が逆に低い結果を示したものと思われる。このことは、180Vで通電焼結した場合の緻密な層の発達した試料下部の方がFig.III-5で見られるように上部よりも軟かい結果と一致する。

一方、試作試料を浸炭焼入れした場合、Fig.III-8で明らかなように硬いものが必ずしも耐摩耗性の改善を促進せず、焼結温度の相違で軟かい方でも耐摩耗性の改善を良好にすることが示された。

### II-3-3 微粒酸化物を添加した鉄ベース複合材 II-3-3-1 微粒酸化物の添加による硬さと耐摩耗性への影響

鉄粉にα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を18vol%混合した試料を用い

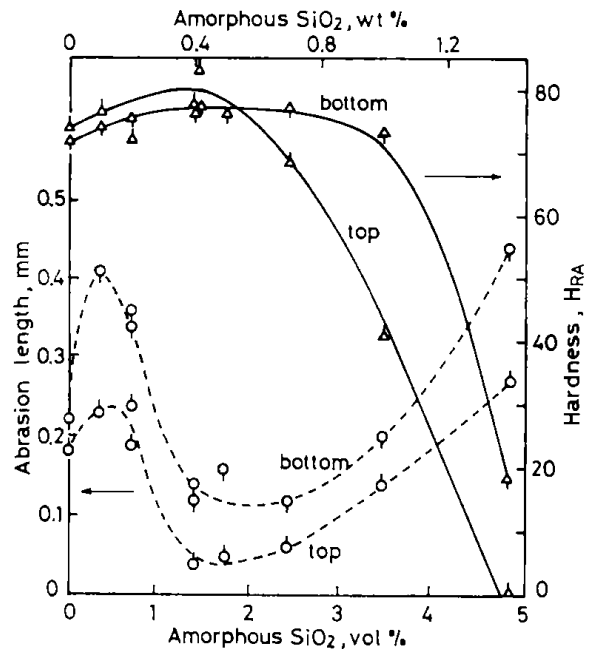
て、さらにマトリックス鉄の耐摩耗性の向上をはかる目的で、これに微粒酸化物である  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  を 1.2~5.0vol % 添加した。焼結後前述のように浸炭焼入れをして準備した試片の硬さとこれらの摩耗試験結果との相関を図II-11に示す。この結果



図II-11  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ を添加した18vol%  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}$  複合ピンの硬さと摩耗量

では、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の添加によるマトリックスの硬さへの影響として、硬化現象はみられず、逆に添加量の増加で焼入れによる硬化を低下させているのが認められる。同図に示した摩耗長さの変化も、硬さと同様に  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ の添加量の増加で増えており、耐久性への効果はほとんど顕れないことを示している。なお、焼結時に試料上部に比べ下部が幾分高い温度になるため、硬さも試料下部の方が大きく、従って摩耗量も少ない。

次に、微粒酸化物として無定形  $\text{SiO}_2$  を 0.4~5.0 vol % 添加した場合について、同様にその結果を図II-12に示す。先に示した  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  の場合に比べ、無定形  $\text{SiO}_2$  を添加することによって 1.4vol % のところで硬さが最大を示し、それ以上の添加量で硬さは減少する。従って摩耗量も 1.4vol % のところで最小となる。これらの結果から、微粒酸化物の添加によるマトリックスを硬くする効果



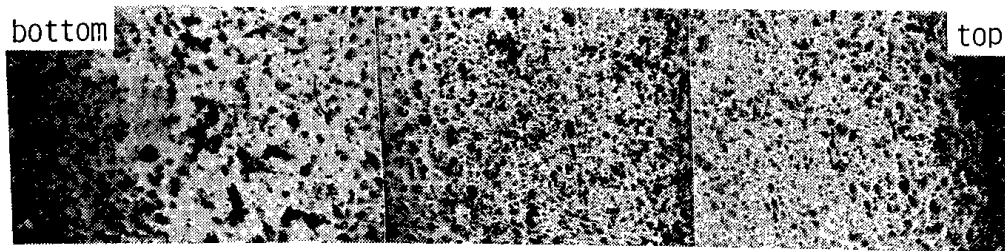
図II-12 無定形  $\text{SiO}_2$  を添加した 18vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}$  複合ピンの硬さと摩耗量

は、無定形  $\text{SiO}_2$  を添加する場合にみられることが確認された。

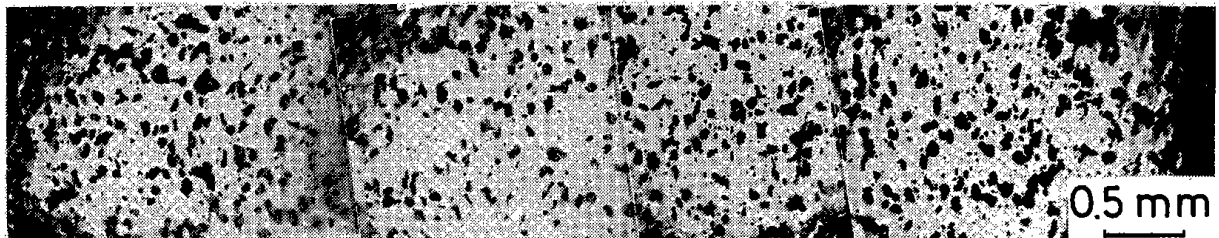
#### II-3-3-2 微粒酸化物の添加による試料断面組織と硬さ分布

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  を 18vol % 混合した試料に微粒酸化物を添加した試片の断面組織の 1 例として、無定形  $\text{SiO}_2$  を添加したものについてを写真II-5 (a~c) に示す。光学顕微鏡による観察結果から、微粒酸化物の添加によってマトリックスにあらわれる気孔組織が、添加物の増加に伴い試料下部側へ拡がる傾向が認められる。この傾向は  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  の添加の場合も同様である。これら試片断面の硬さ分布を Fig.II-13 に示す。ここには無定形  $\text{SiO}_2$  を添加したものについて示しているが、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  添加の場合も無添加のものに比べ、わずかな添加量で試料上部が幾分硬くなる効果を示す。しかしながら、さらに添加量が増加すると次第に試料上部から下部に向かって硬さが低下していく傾向が認められる。すなわち先に示した断面写真にみられるマトリックス中の気孔組織の拡がり、硬さの低下する変化が対応しているのが分かる。これは微粒酸化物の添加量の増加が焼結温度を上げるため、同一条件の加熱では焼結速度が低下するためと思われる。

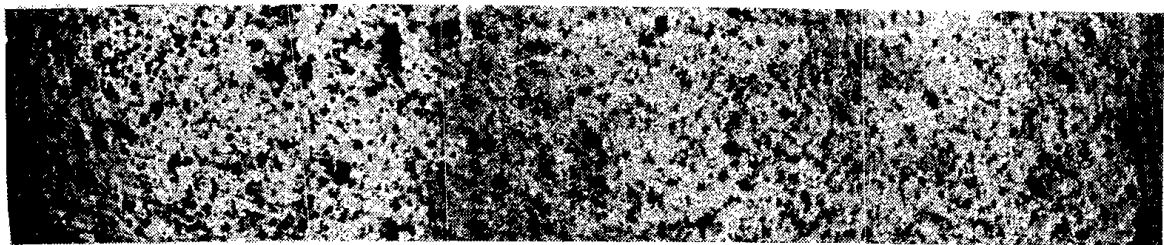
次に、これら試片断面の浸炭により炭素の分布



(a) Addition: 18 vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , No treatment

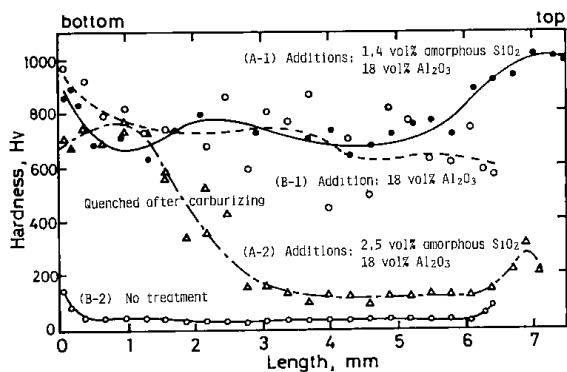


(b) Addition: 18 vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  & 1.4 vol% amorphous  $\text{SiO}_2$



(c) Addition: 18 vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  & 3.4 vol% amorphous  $\text{SiO}_2$

写真II-5 無定形  $\text{SiO}_2$  を添加した 18vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fe 複合ピンの断面組織

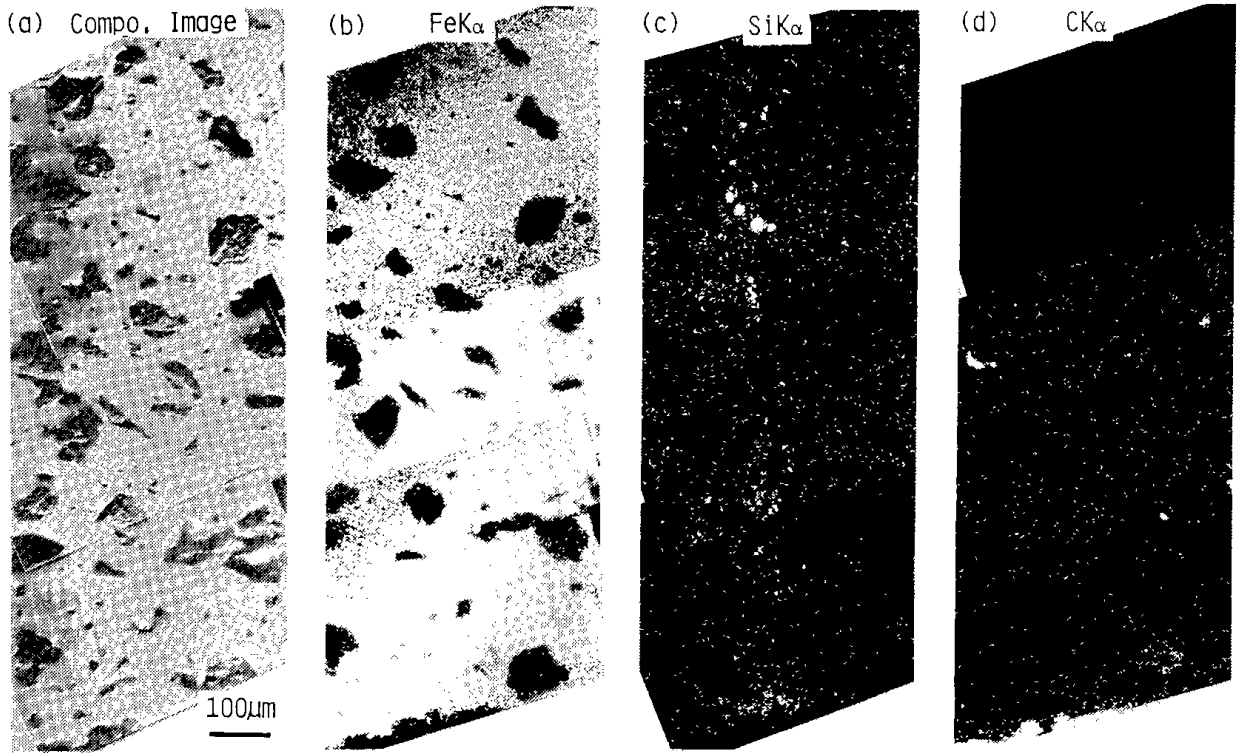


図II-13 無定形  $\text{SiO}_2$  を添加した 18vol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Fe 複合ピンの硬さ分布

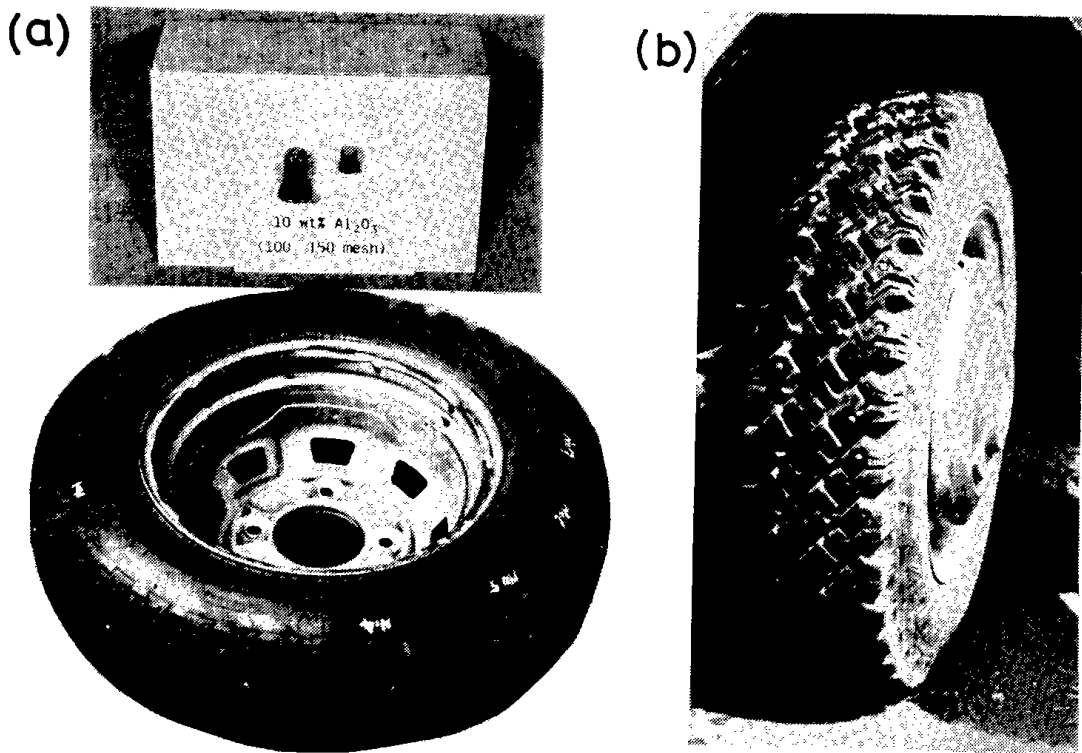
状態について、EPMA で面分析した結果の 1 例を写真II-6 に示す。写真は 18vol%  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  を含有した無定形  $\text{SiO}_2$  添加のもので、試料下部側の分析結果である。微粒酸化物を含まなかった写真II-4 に比べ炭素の析出が少ない。この結果は、微粒酸化物の添加によって炭素の浸炭速度が抑制されるか、又は一度固溶した炭素の析出が抑えられるかいずれかの効果を示したものと思われるが、詳細についてはさらに検討が必要である。

#### II-3-4 実車走行による摩耗試験

室内試験機による摩耗試験結果で、実際の路面走行の場合に対してどの程度の相関が得られるのかについて調べるため、これらの試片をタイヤに装着し、実車による走行試験で検討した。ピン先端に各種セラミックス粒子を分散させた試作試片を取付け、タイヤに埋め込んだ状態についてその 1 例を写真II-7(a) に示す。ピンの先はタイヤのトレッド面から 2~2.5mm 突き出た状態にし、走行試験後 (写真II-7(b)) ピンを取りはずしてその摩耗状態を調べるために、長さ変化と重量変化

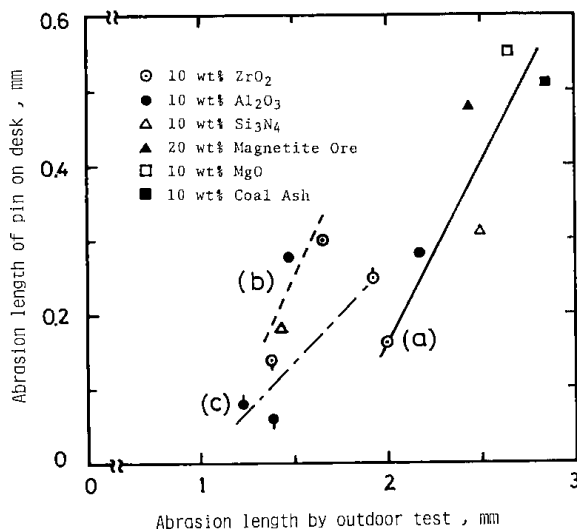


写真II-6 無定形  $\text{SiO}_2$  を1.1vol%添加した18vol%  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  複合ピン下部のEPMA分析結果



写真II-7 実路走行による摩耗試験用スパイクタイヤ  
(a) 試験前, (b) 430km 走行後 (舗装面露出道路)

を測定した。なお、積雪時期(2~3月)に1,300 km 走行した場合(b)と、4~5月に430km 走行した場合(a)について、さらに同様に浸炭焼入れた試作試片については積雪時期に2,100km 走行した場合(c)をそれぞれ室内試験結果との相関で図II-14に示す。この場合、試験後のピン先端はタイヤのトレッド面とほぼ同程度まで減少しており、この状態になると制動効果は極めて低くなっていると思われる。試験結果では、それぞれ多少ばらついているが、ジルコニア、アルミナ、窒化珪素の耐摩耗性が他のものに比べて良いことが示され、室内試験結果との相関が認められる。この事実から実車による試験結果は、室内での摩耗試験でもある程度予測できることが分かる。また、舗装路面での走行に比べて雪氷路面での走行の場合、ピンの摩耗は約 $\frac{1}{2}$ 倍になることが分かった。さらに、試験期間が前年の厳冬期と同じ時期にある(b)と(c)を比較すると、約2倍の距離を走行しているにもかかわらず $Al_2O_3$ 粒子分散のものについては摩耗量が少なく、浸炭焼入れの効果として明らかに耐摩耗性の改善が認められた。



図II-14 試作ピンの実路走行と室内における摩耗試験結果の相関

- (a) 430km (S 59.4 . 13~5 . 8)
- (b) 1300km (S 60.2 . 19~2 . 23)
- (c) 2100km (S 62.2 . 19~2 . 28)

#### II-4 結 言

低公害スパイクピン素材の開発を目標にして、鉄ベースにセラミックス粒子を分散させた複合材、ならびにこれに浸炭焼入れを施したもの、さ

らに微粒酸化物を添加したものをそれぞれ試作し、これらの摩耗特性について検討した結果、次のことが明らかになった。

- 1) 鉄ベースに分散させるセラミックスの種類によって、加熱時の温度分布の影響で断面組織に差異がみられ、摩耗特性にも影響することが認められた。
- 2) セラミックスの混合量が8~35vol%の範囲では、セラミックスの種類によって混合量による効果が一様ではないことが認められた。
- 3) セラミックスの粒径による影響は、いずれも約60 $\mu$ m以上のものが耐摩耗性を示し、従来の超硬合金の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{10}$ のものを得ることができた。
- 4) セラミックスを分散させた鉄ベースを浸炭焼入れすることにより、室内試験及び実路走行試験において硬さと耐摩耗性への効果が明らかに認められた。
- 5) 試作試片の焼結温度が高いものに比べて低いものは、硬さが軟かいにもかかわらず耐摩耗性への効果は同じように認められた。
- 6) 試作試片の $Al_2O_3$ 粒子分散したものは、 $ZrO_2$ 粒子分散のものに比べて耐摩耗性が良好である。
- 7) 微粒酸化物添加の影響として、 $\gamma-Al_2O_3$ はその添加量の増加に伴い、マトリックス鉄の焼結性を低下させるため、複合材の浸炭焼入れによる硬さ及びその耐摩耗性はほとんど改善されない。
- 8) 微粒酸化物の無定形 $SiO_2$ は、その添加量が1.5~2.5vol%の範囲でマトリックスの硬さを増加させ、耐摩耗性を向上させる効果がある。
- 9) 加熱条件が一定のため、微粒酸化物の添加で焼結性への影響の少ない無定形 $SiO_2$ の場合は、試料上部と下部の硬さに大差はあられないが、摩耗特性は上部がすぐれている。
- 10) 微粒酸化物の添加量を増すにともない、試料中央では添加しない場合に比べて浸炭した炭素による硬化が低下する。
- 11) スパイクピン素材の耐摩耗性については、ピンオンデスク型の摩耗試験結果から、実車による走行試験結果をある程度予測できることが分かった。

### 第III章 形状記憶合金の応用物性

広木 栄三, 鈴木 良和, 窪田 大

#### III-1 緒 言

スパイクタイヤは、自動車が走行することによってタイヤゴムの伸縮変形、摩擦及び衝撃を受け、その結果発熱してタイヤ及びスパイクピンの温度が上昇する。一方、走行中に路面状態が舗装路面から冰雪路面に変わると、冰雪の冷却作用でタイヤ及びスパイクピンは冷却される。この温度差で変形する形状記憶合金をスパイクタイヤに用いると、冰雪路面を走行する時にスパイクピンの突出力や突出寸法を大きくし、舗装路面を走行する時には小さくすることが期待できる。そのデバイス材として利用する場合に必要な Ni-Ti 系形状記

憶合金を対象にして、熱処理条件による変態温度の調整、及び実用上問題となる熱サイクル劣化性について検討したので、これらの結果について報告する。

#### III-2 実験方法

##### III-2-1 デバイス材の加工処理

形状記憶合金には Ni-Ti 系と Cu-Al-Zn 系があり、本実験では耐久性、荷重-温度値において実用上優れている Ni-Ti 系形状記憶合金を選定して、低温用の組成を有する直径2.5mm線材を採用した。線材の物性値を表III-1に示す。形状記憶合金の線材は超弾性と高硬度を有するため、

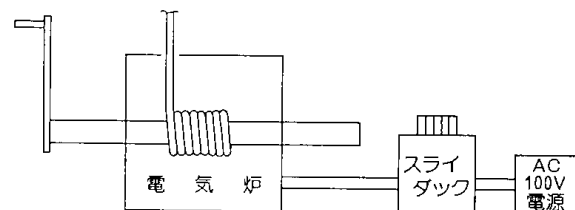
表III-1 Ni-Ti系形状記憶合金の諸特性 (本実験使用のもの)

密度	6.4~6.5	g/cm <sup>3</sup>
融点	1240~1310°C	°C
比熱	6~8	cal·mol·°C
線膨張係数	10	10 <sup>6</sup> ·°C (記憶効果を除く)
熱起電力	マルテンサイト用 5.5~7.5 オーステナイト用 8~13	10V·°C
熱伝導率	0.05 (R·T)	cal (cm·°C·s) <sup>-1</sup>
比熱抗	50~100	μΩ·cm
引張強さ	70~110	kg/mm <sup>2</sup> (記憶処理材)
	130~200	kg/mm <sup>2</sup> (未記憶処理材)
降状強さ	5~20	kg/mm <sup>2</sup> (マルテンサイト用)
	10~60	kg/mm <sup>2</sup> (オーステナイト用)
伸び	20~60	%

デバイス材の成形加工は図III-1に示した電気炉を用い、炉内温度450°Cの中で外径7mmのコイル巻き上げ軸を使って密着バネに巻き上げた。これを一巻きバネに切断し、1.2mm厚のリング状平板に削り、記憶処理用試料に加工した。

##### III-2-2 デバイス材の形状記憶処理

リング状平板の形状記憶合金を、熱処理治具で外径12mm、ピッチ4mmに固定し、電気炉で450°C、500°C、520°Cの各温度で20分、40分、60分それ



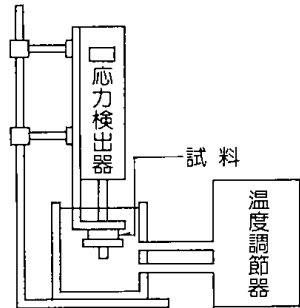
図III-1 形状記憶合金巻き上げ用電気炉



ぞれ加熱後水中に焼入れすることにより記憶処理を行った。

### III-2-3 形状記憶合金の温度一荷重測定

図III-2に温度一荷重測定装置の略図を示す。

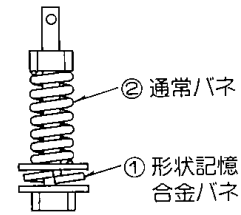


図III-2 温度一荷重測定装置

荷重測定は小型荷重測定器（最小目盛：100g）に試料固定架台を取り付けて行った。試料温度の設定は、恒温水槽を用いて行った。はじめに形状記憶合金デバイス材を試料固定台に取り付け、再現性を良くするため0°Cで2 kgの密着荷重をかけて固定し測定準備をした。この際、固定した試料を恒温水槽に入れて温度を上げ、再び0°Cの恒温水槽に入れて2 kgの密着荷重に調節した。試験温度範囲は0°C~70°Cの間で、昇降温度は1.5°C/minとした。

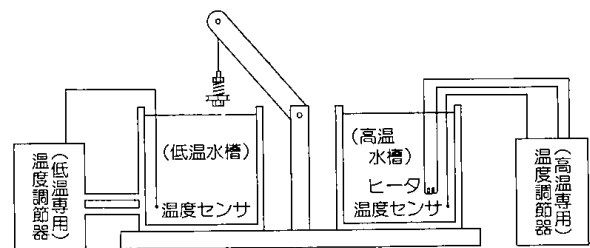
### III-2-3 熱サイクル疲労負荷

図III-3には、形状記憶合金デバイスバネ①と

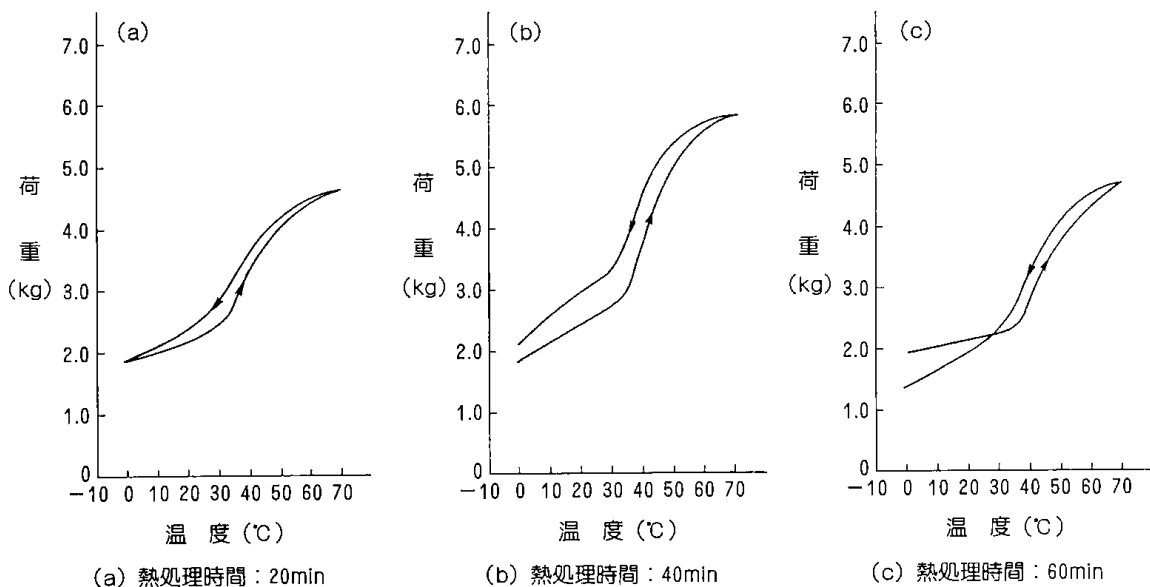


図III-3 バネ配列図

鋼材バネ②（JIS 外径8.0mm，線径1.2mm，最大密着荷重4.88kg）を互いに押し合うように直列に配置した図を示す。ここでは低温側でバネ①がバネ②の力に負けて縮み，高温側ではバネ①が変態温度以上に加熱されるため，バネ②に打ち勝って伸びるように固定されている。次に，図III-4に示した冷却一加熱の熱サイクル負荷装置で水浴槽液にエチレングリコールを加えて熱媒体とし，低温側水槽温度-3~0°C，高温側水槽温度65~70°Cの間で毎時450~500回の冷却一加熱サイクル負



図III-4 繰り返し熱サイクル試験機概略図



図III-5 疲労試験前（熱処理温度：450°C）

荷をかけられるようにした。なお、この場合の形状記憶合金デバイスバネの冷却—加熱サイクルによる伸び縮み変位量は0.5mm になった。

### III-3 実験結果及び考察

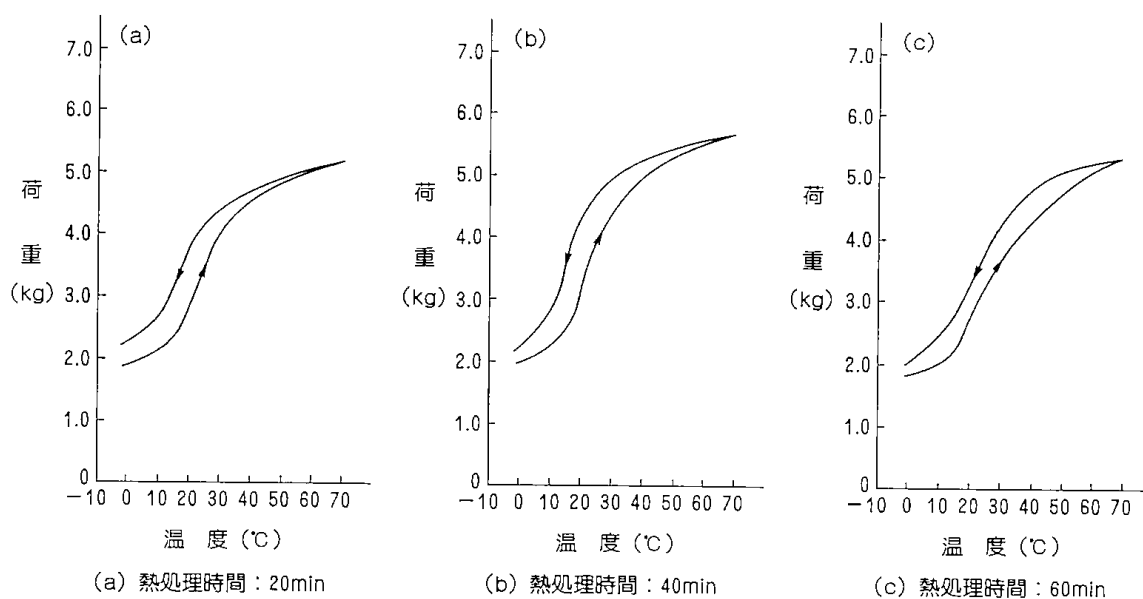
#### III-3-1 形状記憶処理温度と時間及びその変態温度

熱処理温度450°C, 処理時間20, 40, 60分による温度—荷重のヒステリシス曲線を図III—5 (a~c) に示す。温度上昇過程における荷重/温度の変態温度はヒステリシス曲線の曲率変化位置から求められるが、加熱処理時間の20, 40, 60分間

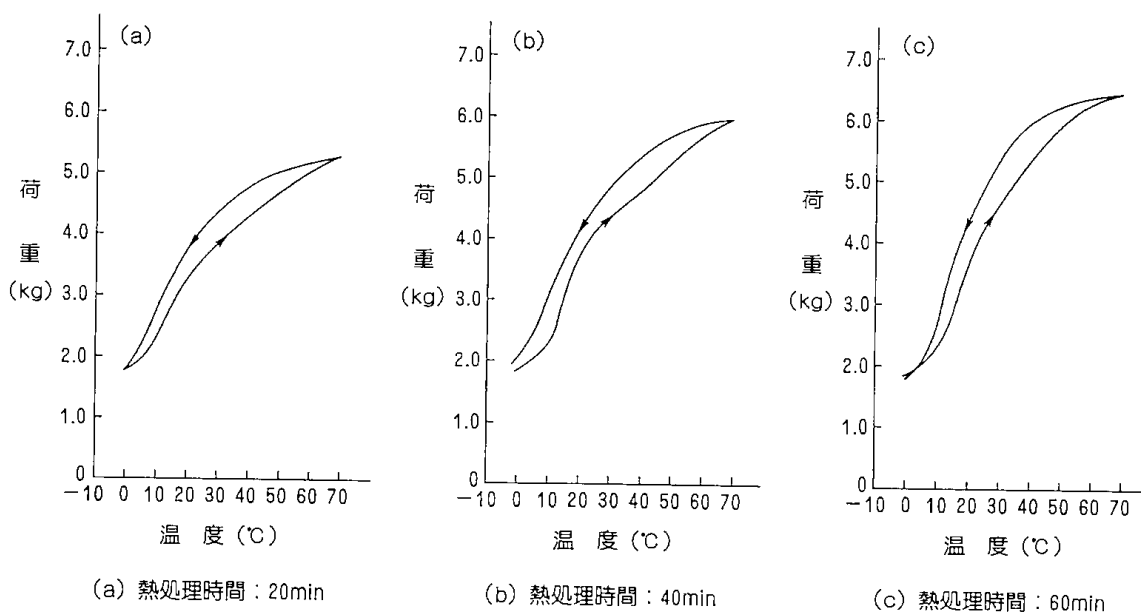
では約32°C 付近での差はほとんど認められない。

熱処理温度500°C, 処理時間20, 40, 60分による温度—荷重のヒステリシス曲線を同様に図III—6 (a~c) に示す。温度上昇過程における荷重/温度の変態温度は、20分と40分のものでは約15°C 付近にあり、60分では15°C より幾分低温側につれている。また、変態温度以上の荷重/温度値は40分加熱処理のものが一番高く、60分では幾分低下している。

さらに、熱処理温度520°C, 処理時間20, 40, 60分による温度—荷重ヒステリシス曲線を図III—7 (a~c) に示す。温度上昇過程における荷重/



図III—6 疲労試験前 (熱処理温度：500°C)



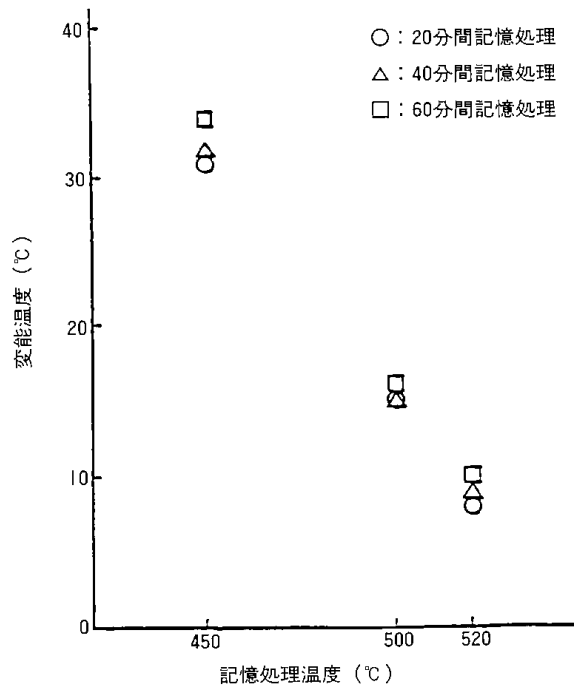
図III—7 疲労試験前 (熱処理温度：520°C)

温度の変態温度は、20、40、60分の間でいずれも5～10℃の範囲にあり、差はほとんど認められない。

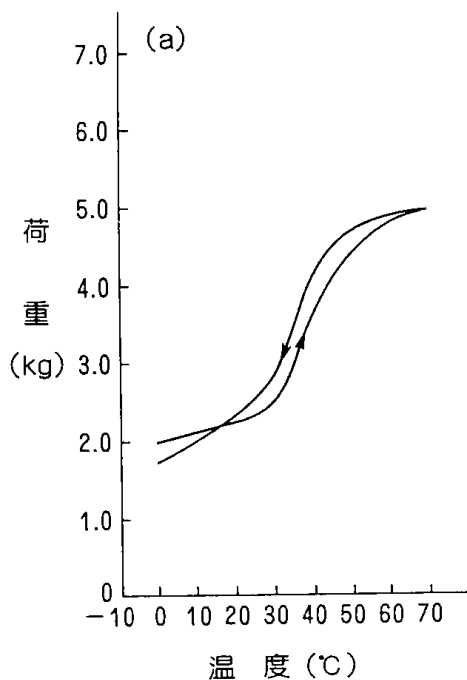
これらの結果に基づいて、それぞれの記憶処理条件による形状記憶合金の変態温度の変化を図III-8にまとめて示す。図から明らかなように、記憶処理温度を450、500、520℃と変えた場合、変態温度の変化として処理温度が高くなるほど低温側にシフトすることが分った。

### III-3-2 形状記憶処理温度と時間及びその熱サイクル疲労

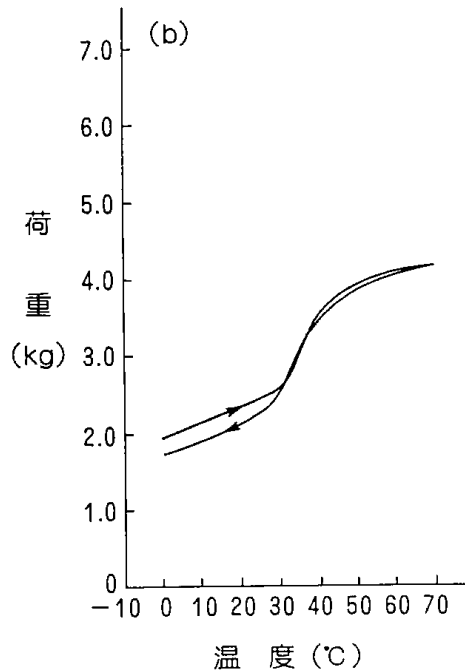
450℃、20分間記憶処理を行った形状記憶合金デバイスバネについて、1、2、5万回の熱サイクル疲労試験を行った。その結果の一例として、1、5万回の各々の場合について図III-9(a～b)に示す。5千回の熱サイクル試験では、変態温度以上での立ち上りが急になり、荷重/温度値も大きくなるが、1万回になると少し劣化が認められた。2万回では、Fig.III-5に示した0回の場合よ



図III-8 記憶処理条件による変態温度の変化

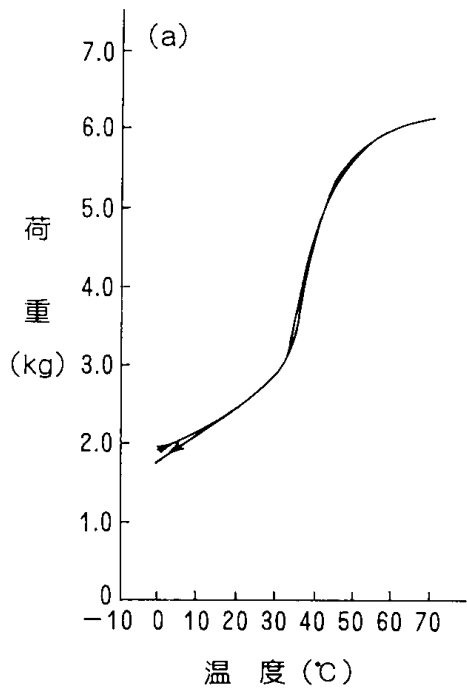


(a) 疲労試験回数：10000回

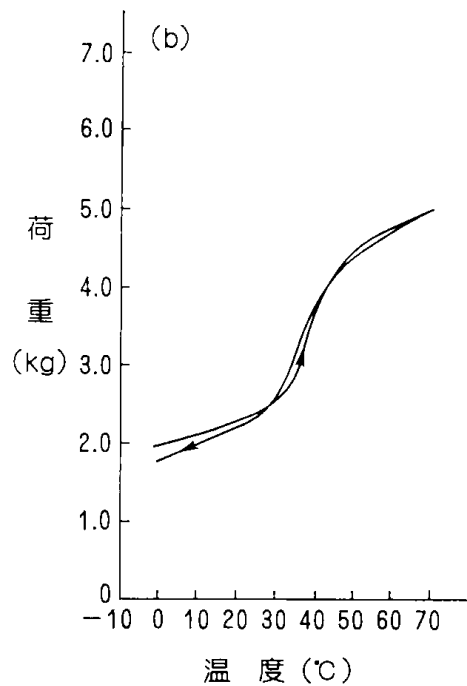


(b) 疲労試験回数：50000回

図III-9 疲労試験後 (熱処理温度：450℃，時間：20min)

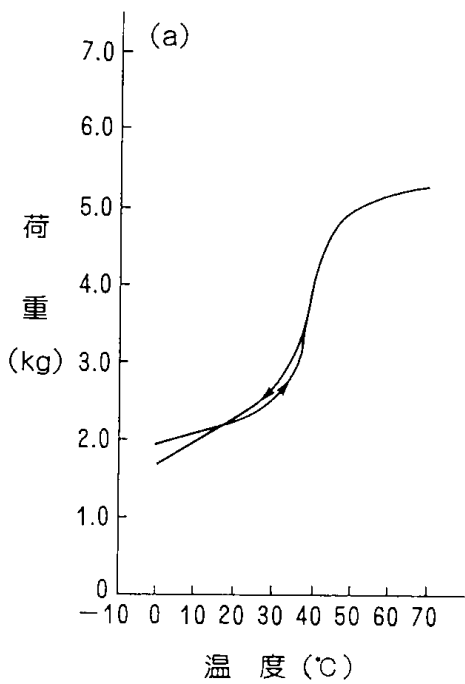


(a) 疲労試験回数：10000回

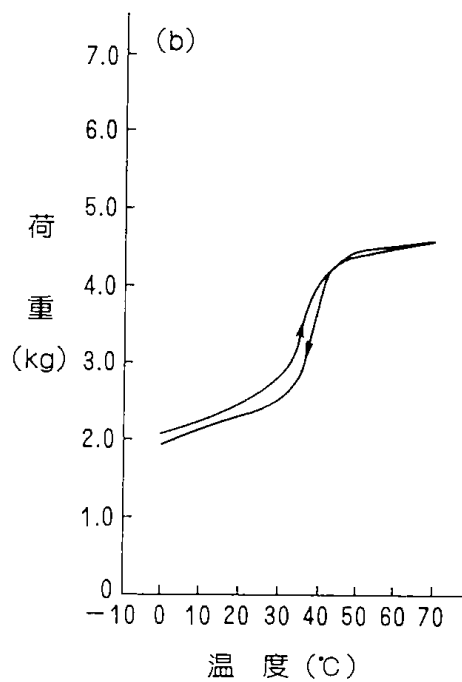


(b) 疲労試験回数：50000回

図III-10 疲労試験後（熱処理温度：450°C，時間：40min）



(a) 疲労試験回数：10000回



(b) 疲労試験回数：50000回

図III-11 疲労試験後（熱処理温度：450°C，時間：60min）

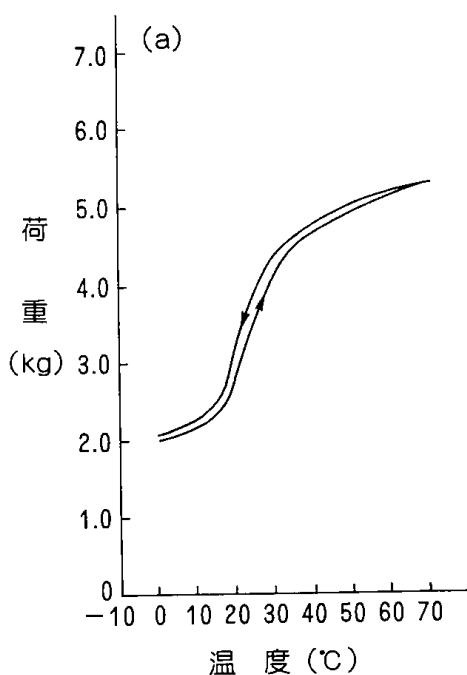
り明らかに劣化が認められ、70°Cでの荷重値は4.1kgであった。5万回の場合、ほぼ2万回の結果と変わらない。ヒステリシス温度幅は熱サイクル回数が増加するに伴って小さくなり、5万回で1~2°Cとなる。又、熱サイクル回数による変態温度のシフトは小さく、あまり影響を受けていないことが分かる。

450°C, 40分間記憶処理後の熱サイクル疲労試験を行った1万回、5万回の例について、それぞれの結果を図III-10 (a~b) に示す。1万回の熱サイクル試験では変態温度からの荷重/温度が大きく、ヒステリシス温度幅も1~2°Cの範囲にあり、この結果の中で良好である。2万回の試験では昇温過程で少し低下するが、降温過程では1万回とほぼ同じ傾向を示した。また、この場合のヒステリシス温度幅は2~3°C程度であった。しかしながら、5万回の試験では70°Cで5.0kgとなり、1万回の場合に比べて1 kg 低下しており大幅な劣化が認められた。なお、ヒステリシス温度幅はほぼ0に近くなっている。

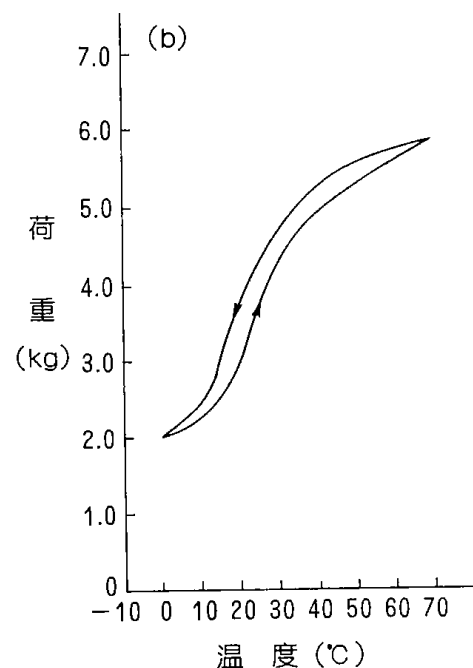
450°C, 60分間記憶処理した熱サイクル疲労試験の結果例を図III-11 (a~b) に示す。1万回の試験では変態温度からの荷重/温度値が大きく、ヒステリシス温度幅は0.5~1°Cである。2万回の場合には1万回よりも更に変態温度からの荷重/

温度が大きくなり、ヒステリシス温度幅は約2°Cになった。5万回の試験では70°Cで4.5kgとなり劣化が認められる。これは試験前の結果とほぼ同じであるが、2万回の試験結果より1.2kg 小さい。この場合のヒステリシス温度幅は3~4°Cになる。

500°C, 20分間記憶処理後の熱サイクル疲労試験の結果例を図III-12 (a~b) に示す。1万回の試験では試験前のものに比べ昇温過程における変態温度からの荷重/温度値はほぼ同じであるが、降温過程で大きな荷重低下が認められている。しかしながらヒステリシス温度幅は、1~2°Cの範囲になり、劣化によって狭くなっている。2万回の場合には1万回に比べ37~70°Cの間で良好になっており、ヒステリシス温度幅もほぼ同じであった。5万回の試験では、1万回及び2万回の場合に比べ降温過程で荷重/温度が大きくなっている。従ってこの条件で処理したものは、5万回の熱サイクル疲労試験まではほとんど劣化していない

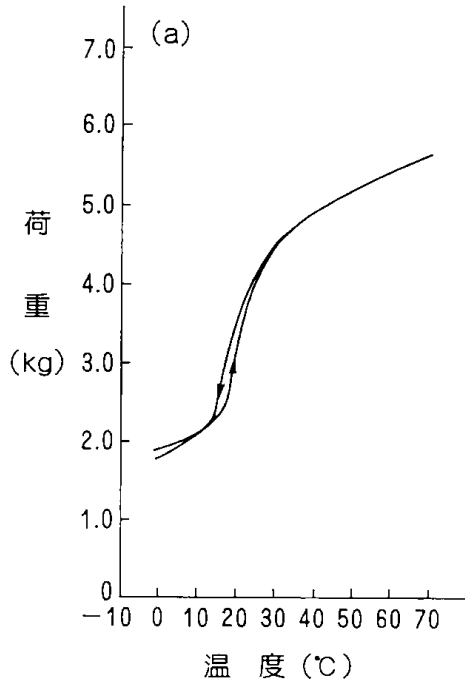


(a) 疲労試験回数：10000回

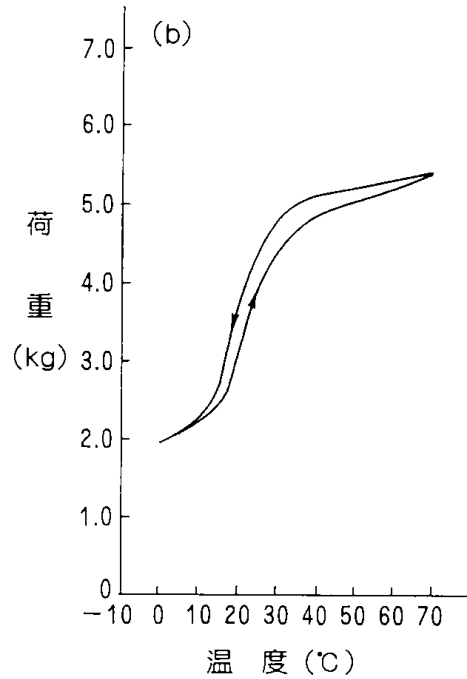


(b) 疲労試験回数：50000回

図III-12 疲労試験後 (熱処理温度：500°C, 時間：20min)

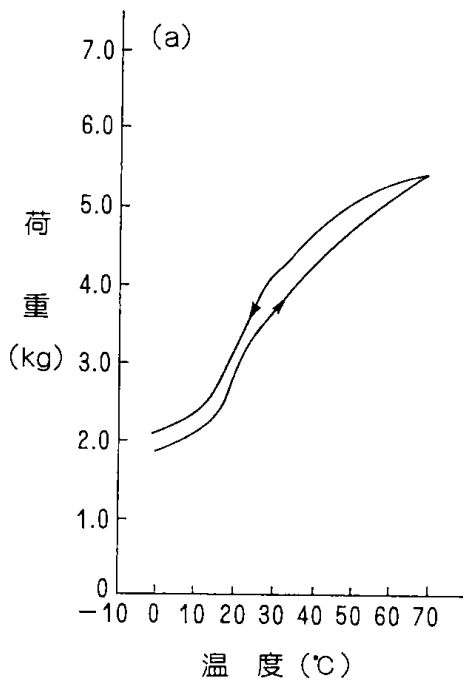


(a) 疲労試験回数：10000回

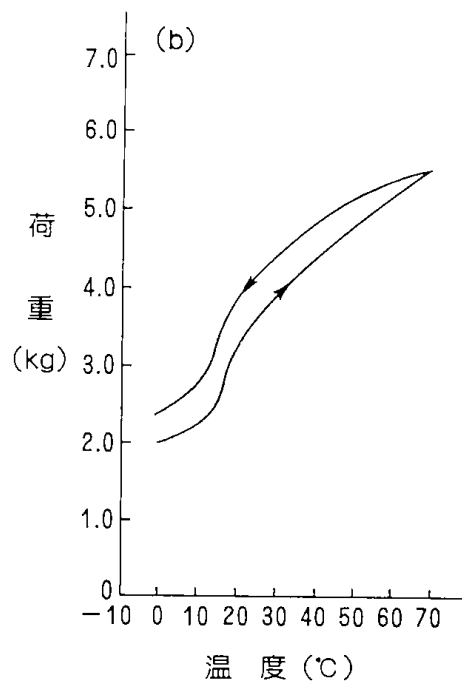


(b) 疲労試験回数：50000回

図III-13 疲労試験後（熱処理温度：500°C，時間：40min）



(a) 疲労試験回数：10000回



(b) 疲労試験回数：50000回

図III-14 疲労試験後（熱処理温度：500°C，時間：60min）

いと言える。

500°C, 40分間記憶処理後の熱サイクル疲労試験の結果例を図III-13 (a~b) に示す。1万回の試験では500°C, 20分間のものと同じ傾向を示している。2万回では1万回の場合に比べ、荷重/温度値は大幅に増大し、変態温度が2~3°C低温側にシフトしたが、5万回になると1万回の場合とほぼ同じ傾向にもどる。

500°C, 60分間記憶処理後の試験結果例を図III-14 (a~b) に示す。500°C, 40分の場合とほぼ同じ傾向を示している。2万回では変態温度からの荷重/温度値が一番高くなるが、1万回と5万回はほぼ同じ値になる。なおヒステリシス温度幅は3~5°Cとなり、40分間処理のものより大きくなっている。

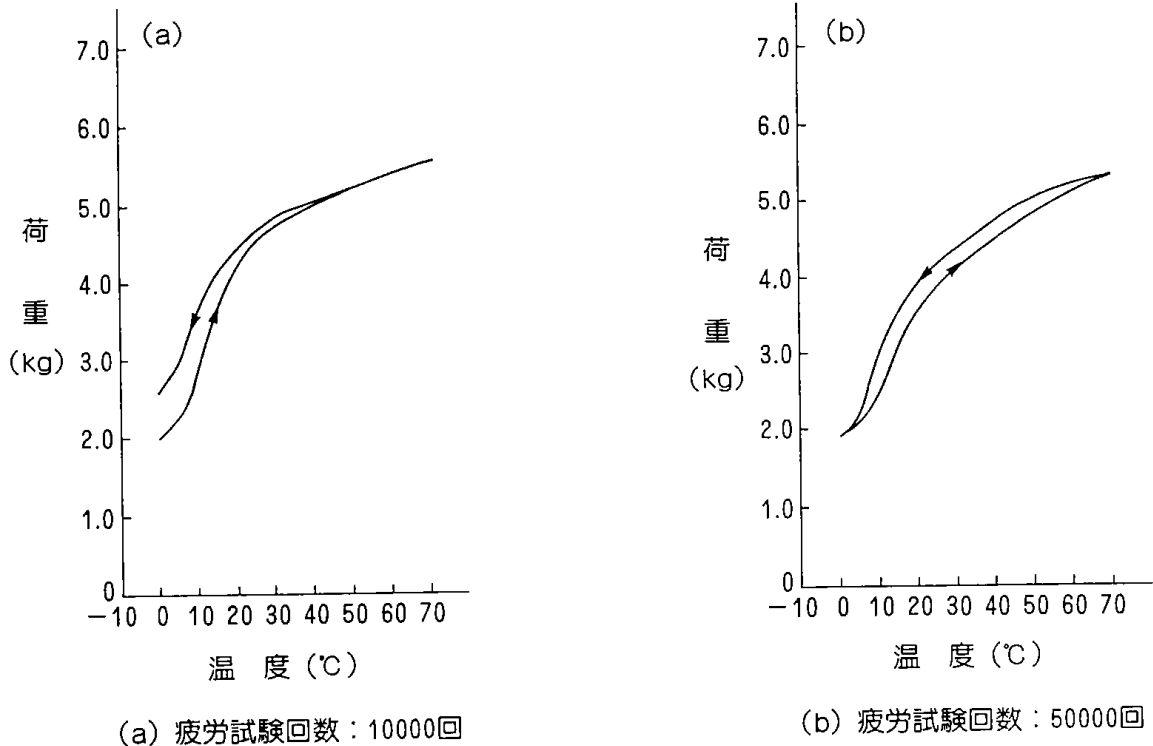
520°C, 20分間記憶処理後の試験結果例を図III-15 (a~b) に示す。なお2万回の試験では変態温度からの荷重/温度値が大きくなり、70°Cでは6.3kgを示し、試験前のもより1.1kg増加した。また、ヒステリシス温度幅は0~43°Cの範囲で約2~3°Cあるが、43~70°Cの範囲ではほとんど0°Cとなりヒステリシス温度幅が無くなった。5万回の試験では、2万回の場合に比べて荷重/温度値が低下し、劣化が認められた。ヒステリシス

温度幅は2~3°Cになっている。

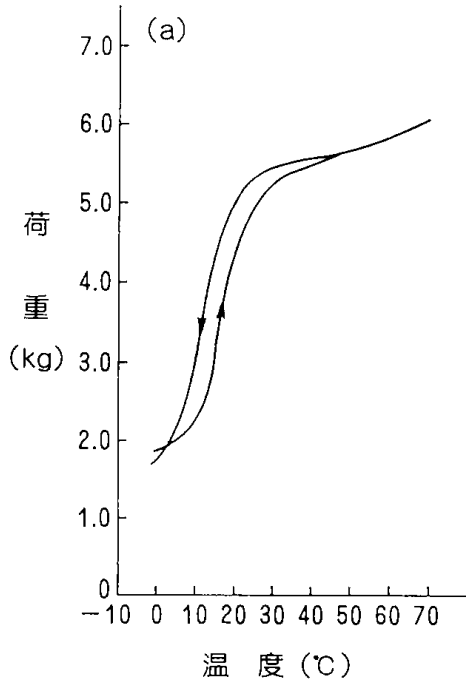
520°C, 40分間記憶処理後の試験結果例を図III-16 (a~b) に示す。試験前のもから2万回の試験まで荷重/温度値は少しずつ大きくなったが、5万回の試験では幾分減少している。また、5万回の場合温度上昇過程で20~40°Cの間に荷重/温度値の停滞がみられる。ここでは変態温度のシフトはほとんどみられない。ヒステリシス温度幅は、試験前のもが幾分大きく、試験による変化はほとんどみられない。

520°C, 60分間記憶処理後の熱サイクル疲労試験結果例を図III-17 (a~b) に示す。試験前から5万回の試験まで、荷重/温度値はあまり変化しないが、2万回では温度上昇過程で20~40°Cの間で値の変化の停滞がみられた。5万回の試験で、変態温度が約3°C低温側にシフトしているのが認められる。ヒステリシス温度幅は試験前のも及び1万回の試験のもが大きくなり、2万回以上になると小さくなるのが認められた。

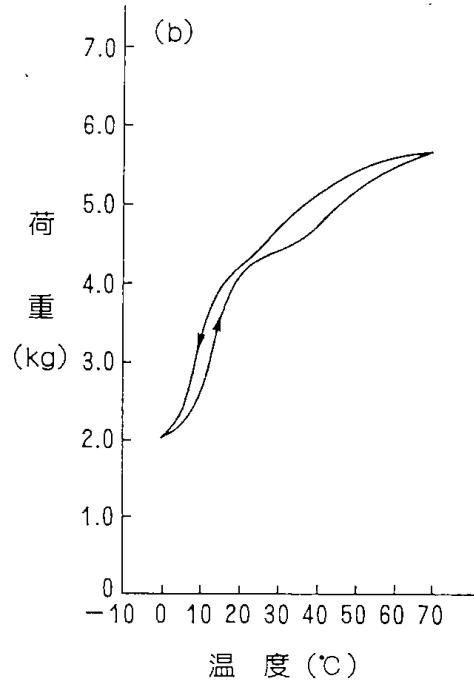
これらの結果を基に、変態温度の低い記憶処理温度を520°Cで試作した形状記憶合金の熱サイクル負荷回数とその疲労状態を、加熱温度10°Cと30°Cのところで比較し、図III-18にまとめて示す。この結果から、5万回の熱サイクル試験まで



図III-15 疲労試験後 (熱処理温度：520°C, 時間：20min)

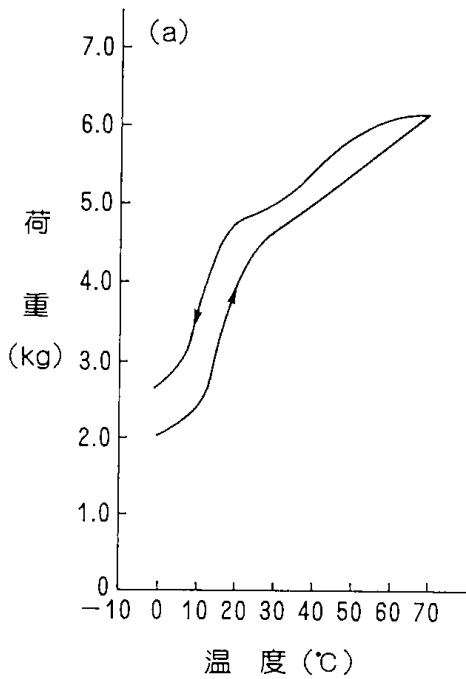


(a) 疲労試験回数：10000回

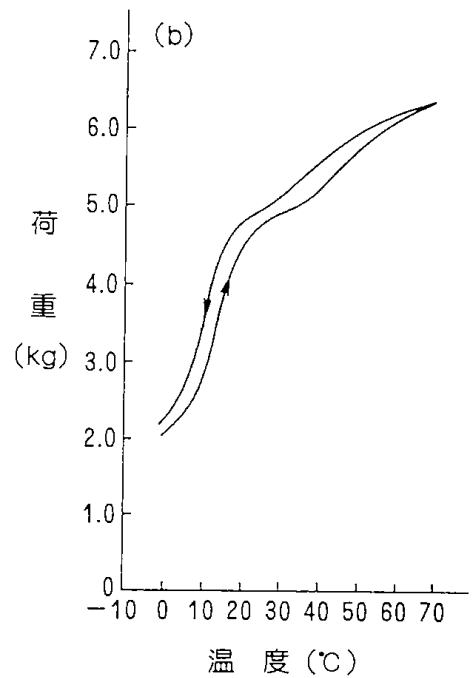


(b) 疲労試験回数：50000回

図III-16 疲労試験後（熱処理温度：520°C，時間：40min）



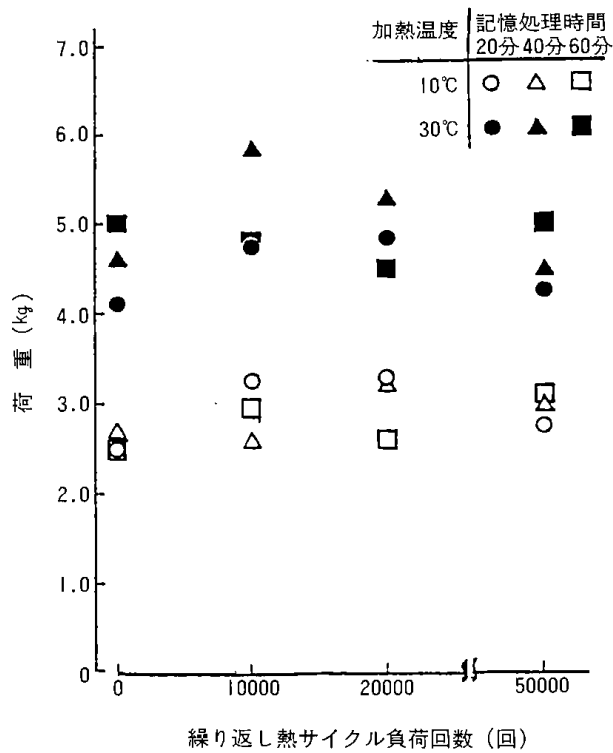
(a) 疲労試験回数：10000回



(b) 疲労試験回数：50000回

図III-17 疲労試験後（熱処理温度：520°C，時間：60min）





図III-18 記憶処理温度520°CのNi-Ti合金の熱サイクル疲労試験結果

は変態温度の変化，並びに劣化がほとんどあらわれないことが確認された。

### III-4 結 言

本研究では，低公害高性能スパイクタイヤの開発を目標として，形状記憶合金による作動材の記憶処理条件と繰り返し熱サイクル劣化特性についての検討を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 低温用Ni-Ti系形状記憶合金を用いて，450～520°Cの温度範囲で20～60分間の加熱処理を行うことにより，形状記憶合金の変態温度を5～32°Cの間で任意に設定することができる。
- (2) 450～520°Cの温度範囲で20～60分間の加熱処理を行った形状記憶合金意デバイスバネの熱サイクル疲労は，5万回の熱サイクル疲労試験で劣化がほとんど認められない。逆に，2万回の熱サイクルまでは荷重/温度値，ヒステリシス温度幅等良くなる傾向がみられる。この場合，変態温度の変化はほとんど無い。

## 第IV章 形状記憶合金のスパイクタイヤへの応用

広木 栄三，窪田 大，鈴木 良和，後藤藤太郎

### IV-1 緒 言

自動車が舗装路面を走行するとき、スパイクタイヤのタイヤ及びスパイクピンに熱が発生し温度が上昇する。一方、冰雪路面走行では、冰雪の冷却作用でタイヤ及びスパイクピンの温度は下降する。この温度差で変形するニッケル-チタン系形状記憶合金を用いて冰雪路面を走行する時にスパイクピンの突出寸法及び突出力が大きく、露出舗装路面を走行する時に小さくなるようなスパイクピンを試作し、バイヤススパイクタイヤに埋め込み道路上で1万 km 走行させた。その結果について報告する。

### IV-2 実験方法

#### IV-2-1 供試スパイクタイヤ

##### IV-2-1-1 形状記憶合金作動材

形状記憶合金作動材は、古河電工（株）製ニッケル-チタン系形状記憶合金（超弾性材料）の直径2.5mm線材を用いた。この線材を450℃温度の電気炉内で、外径6.3mmの巻き上げジグに巻き上げ、外径11.5mmの密着コイルバネを作成した。これを1巻バネに切り取り、治具で固定してグラインダーで平板状のリングに成型加工した。これらの形状記憶処理は、治具でピッチを3.5mmに固定して520℃の温度で20～60分間の範囲で熱処理後、水中焼入で形状記憶処理を行った。

##### IV-2-1-2 スパイクピン本体

SK-4鋼材を使用して、スパイクピンの長さ19mm、シャンク径6.2mm、フランジ径11mmの大きさにスパイクピン本体を試作し、焼入処理を行ってロックウェル硬度45の硬さに調製した。

スパイクピン本体部の先端超硬チップは市販品を用い打込はカシメ型にした。

##### IV-2-1-3 タイヤ

A社のバイヤススパイクタイヤ6.15-13-6PRを用い既存スパイクピンの穴底部に直径6mm、深さ4mm円柱形の穴と、穴底に直径15mmの円形の切り込みを入れてスパイクピン穴とした。

一方、形状記憶合金作動材を、スパイクピン本体のフランジ上部に設置したものを、スパイクピン穴の中に埋め込んだ。タイヤ1本に8本の形状記憶合金製スパイクピン（略、NTスパイクピン）を埋め込んで供試スパイクタイヤとした。

#### IV-2-2 供試タイヤの道路走行

走行試験は、札幌市地域内で稼動しているタクシーで行った。車種及び取り付け車輪は、ブルーバード1800ccの駆動後輪に取り付けた。

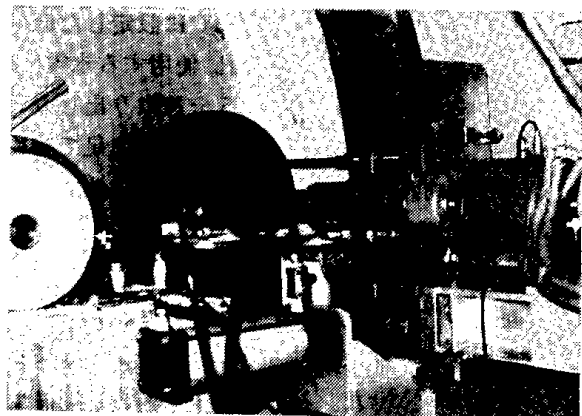
走行期間は、昭和62年2月19日～3月25日間で、30日間1万 km 走行させた。

#### IV-2-3 スパイクピン突出寸法及びタイヤトレッドゴム摩耗量の測定

測定には小野測器（株）製の、デジタルゲージDG-920型及びファンクションプリンタPQ-281B型を使用した。測定方法は、デジタルゲージのスピンドルに長さ30mmのパイプを通してゲタをはかせて、スパイクピンの突出寸法及びトレッドゴムの模様の高さを測定した。

NTスパイクピンの低温時の突出寸法とA社スパイクピンの突出寸法の測定は、直径3mのドラム内面に張り付けた圧雪路面を、時速40kmで回転させ、これに供試スパイクタイヤをロックブレーキ状態にして300kgの荷重で押しつけた後測定した。

NTスパイクピンの高温時の突出寸法の測定



写真IV-1 二走行型タイヤ試験機

は、低温用恒温室内の温度を0℃にして、ドラム舗装路面上で接地荷重300kg、時速40km、タイヤ空気圧1.8kg/cm<sup>2</sup>の状態での10分間走行させた後に測定した。

#### IV-2-4 氷雪路面でのタイヤトルクの測定

##### IV-2-4-1 二走行型タイヤ試験機

試験機は、写真IV-1に示した直径3mのドラム内面に40cm幅の氷雪走行面と、30cm幅の舗装路面を持ったインサイドドラム型の二走行タイヤ試験機である。

供試タイヤを、ドラム面に垂直方向に空気シリンダーで押しつける方式で、最大接地荷重500kgで測定できる。

また、ドラム走行面に対して左右方向は、タイヤ支接部全体が移動し、移動幅および速度は70cm幅で任意に設定できる。

タイヤに発生する力は、タイヤ回転軸に設置してある100kg-mのトルク計で計測される。

試験機本体部は、プレハブ方式の低温用恒温室内に設置されている。設定温度は-15℃～外気温度の範囲で任意に設置できる。

##### IV-2-4-2 圧雪及氷雪走行路面の作製

圧雪走行路面の作製は、低温恒温室内温度を-3℃に設定し自然積雪をドラム内面の走行面に足で踏み固めた後、ドラムを時速5kmの速度で回転させ、タイヤ接地荷重100kgで走行面幅を左右方向に移動させながら10分間行い、粗い締め固めを行った。次にタイヤ支持部の先端に切削刃を取りつけ、ドラムを回転させながら圧雪走行路面を真円状になるように削った。再度タイヤに取り替えてタイヤ接地荷重300kgでドラム回転速度10km/hで10分間再締め固めを行った後、さらに前記と同じ方法で圧雪走行面を切削し、真円状の試験用圧雪走行路面を作製した。

氷雪走行路面の作製は、-1.0℃に設定した低温用恒温室内で行った。走行路面に使用する氷雪は、水の中に自然積雪を投入し、5分後取り出しカゴの上で充分水分を切りドラム走行路面に足で締め固めた後、前記の圧雪走行路面と同じ方法で氷雪走行路面を作製した。

作製後、低温用恒温室内温度を-10℃に設定しドラム回転速度を時速30kmで回転させ、余分な水分を走行面の底部に移動させながら-10℃まで温度を下げ凍結させた。

##### IV-2-4-3 供試タイヤのトルク測定

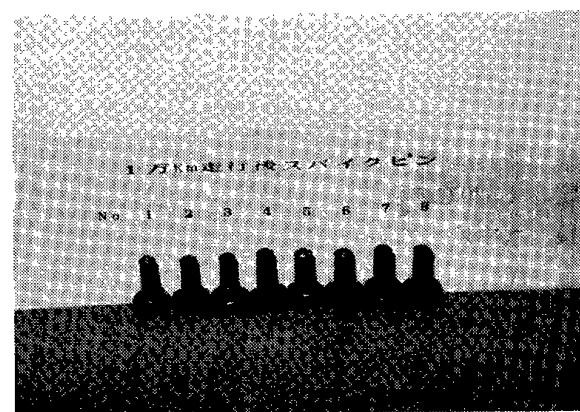
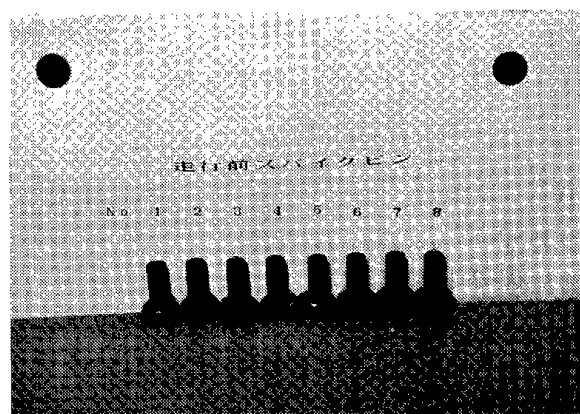
圧雪及び氷雪走行路面と備試タイヤの温度を-5℃に設定するため、低温恒温室内温度が-5℃に設定するため、低温恒温室内温度が-5℃に成った後、3時間放置してから測定を行った。

圧雪及び氷雪走行路面のドラムを時速40kmの定速度で回転させ、供試タイヤをロックブレーキ状態のまま300kgの接地荷重で押しつけて、その時の供試タイヤに発生するトルクを100回/秒のサンプリング速度で測定した。

#### IV-3 実験結果と考案

##### IV-3-1 NTスパイクピンの摩耗

冬期間の道路で、1万km走行前後のスパイク摩耗状態を写真IV-2に示した。またこれらの摩耗結果を表IV-1に示した。NTスパイクピンの本体

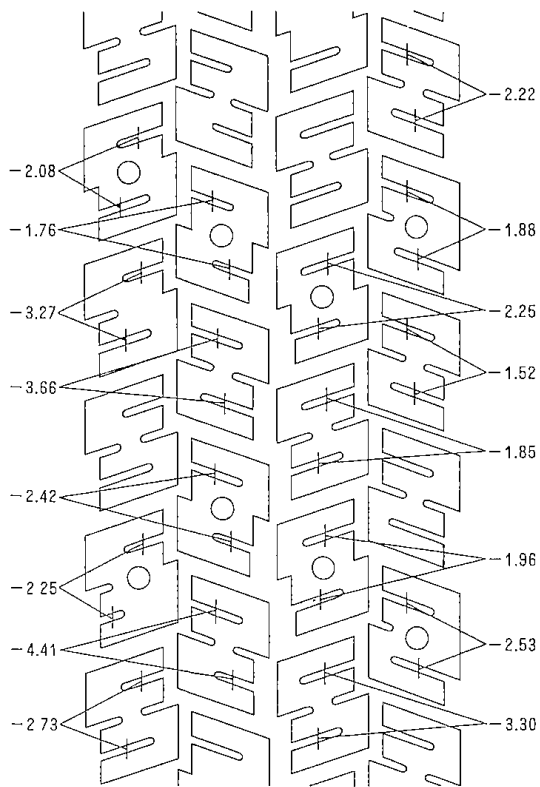


写真IV-2 1万km走行試験前後NTスパイクピン

部の摩耗は、写真から明らかなようにピン先端部のトレッドゴム表面の近くに接している部分ほど摩耗しており、8本のスパイクピンはだいたい同じ形状で摩耗している。これは走行時にトレッドゴムの変形度合の大きい表面部分ほど摩擦が大き

表IV-1 1万km走行によるNTスパイクピンの摩耗結果

NTスパイクピン	スパイクピン長さ (mm)	シャンク長さ (mm)	スパイクピン重さ (g)
1	-1.80	-1.10	-1.05
2	-1.49	-1.02	-1.01
3	-1.80	-1.20	-1.20
4	-0.78	-0.63	-0.50
5	-0.82	-0.60	-0.62
6	-1.63	-0.67	-0.65
7	-0.86	-0.47	-0.58
8	-1.27	-0.82	-0.81



図IV-1 NTスパイクピンタイヤのトレッドゴム摩耗量mm (1万km走行後)

いためと考えられる。

また、摩耗重量については、ピン先端部のシャンクやせ度合と同じ傾向を示している。

ピンの長さの摩耗については、8本のピンの間に明らかな関係はなかった。

#### IV-3-2 タイヤトレッドゴムの摩耗

図IV-1にNTスパイクピンタイヤの1万km走行を行ったタイヤトレッド摩耗量を示す。

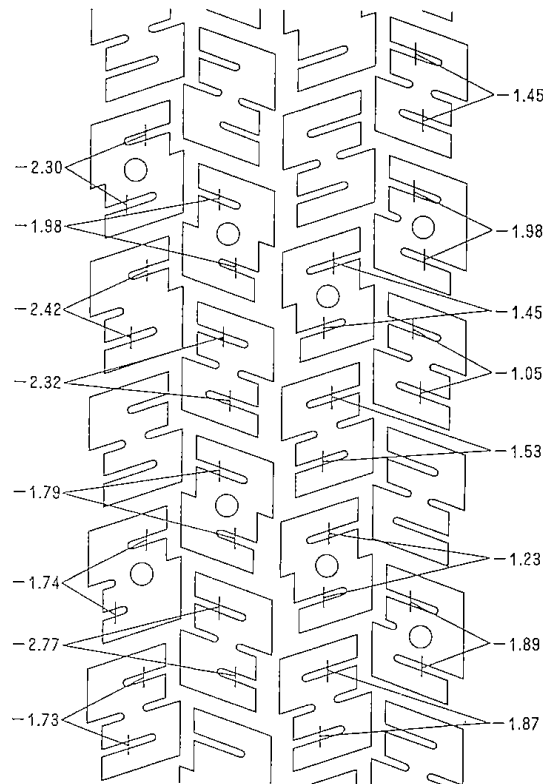
NTピンを埋め込んだピン周囲のゴム摩耗量

は、ショルダー部で2.19mm、中心部では2.10mmで、ほとんど差はなかった。

NTピンが埋め込まれていないトレッドゴム摩耗量は、ショルダー部で2.44mm、中心部で3.31mmで中心部が0.87mm多く摩耗している。

また、NTスパイクピンの埋め込みの有無による差は、ショルダー部で0.25mm、中心部で1.21mmだけスパイクピンが有るほどトレッドゴムは摩耗しない。

ショルダー部と中心部とでトレッドゴムの摩耗



図IV-2 A社スパイクピンタイヤのトレッドゴム摩耗量mm (1万km走行後)

に差があるのは、バイヤスタイヤが転動変形することによって接地面とトレッド中心部の特有の変形摩擦によるものと、ドラム走行試験機の永雪路面でロックブレーキによるスパイクピンひっかき痕を見ても、中心部が強くひっかいていることから摩擦を強く受けていることが分かる。

図IV-2にA社スパイクタイヤの1万km走行によるトレッドゴム摩耗量を示す。

スパイクピンを埋め込まれたピン周囲のゴム摩耗量は、ショルダー部の方で1.87mm、中心部の方では1.61mmで、ショルダー部の方が0.26mm多く摩耗している。

スパイクピンを埋め込まれていないゴム摩耗量は、ショルダー部で1.67mm、中心部で2.12mmで、中心部の方が0.45mm多く摩耗している。

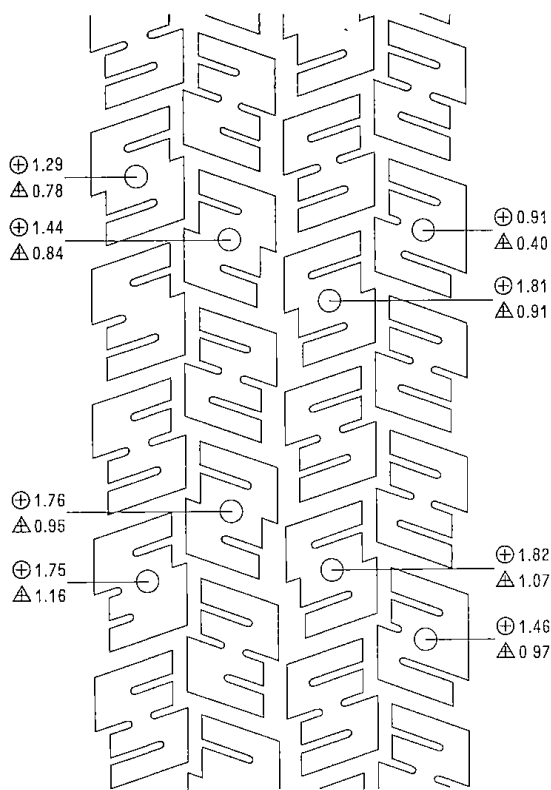
また、スパイクピン埋め込みの有無による差として、ショルダー部の方で0.20mm、中心部の方で0.51mmだけスパイクピンが有るほど摩耗しない。

NTスパイクピン及びA社スパイクピンを埋め込まれた供試スパイクタイヤについて、タイヤの

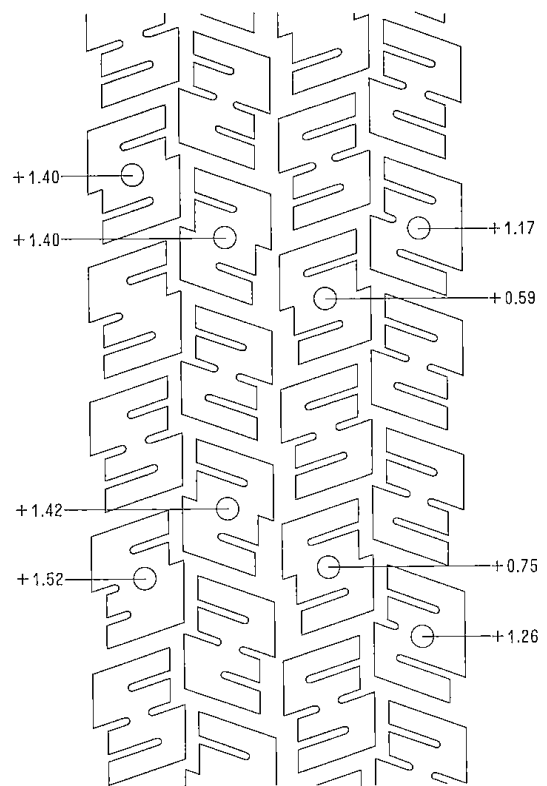
内側（自動車の中心側）と外側との摩耗が逆の結果になったのは、試験に使用した試験車特有の影響であると考えられる。

#### IV-3-3 スパイクピンの突出寸法

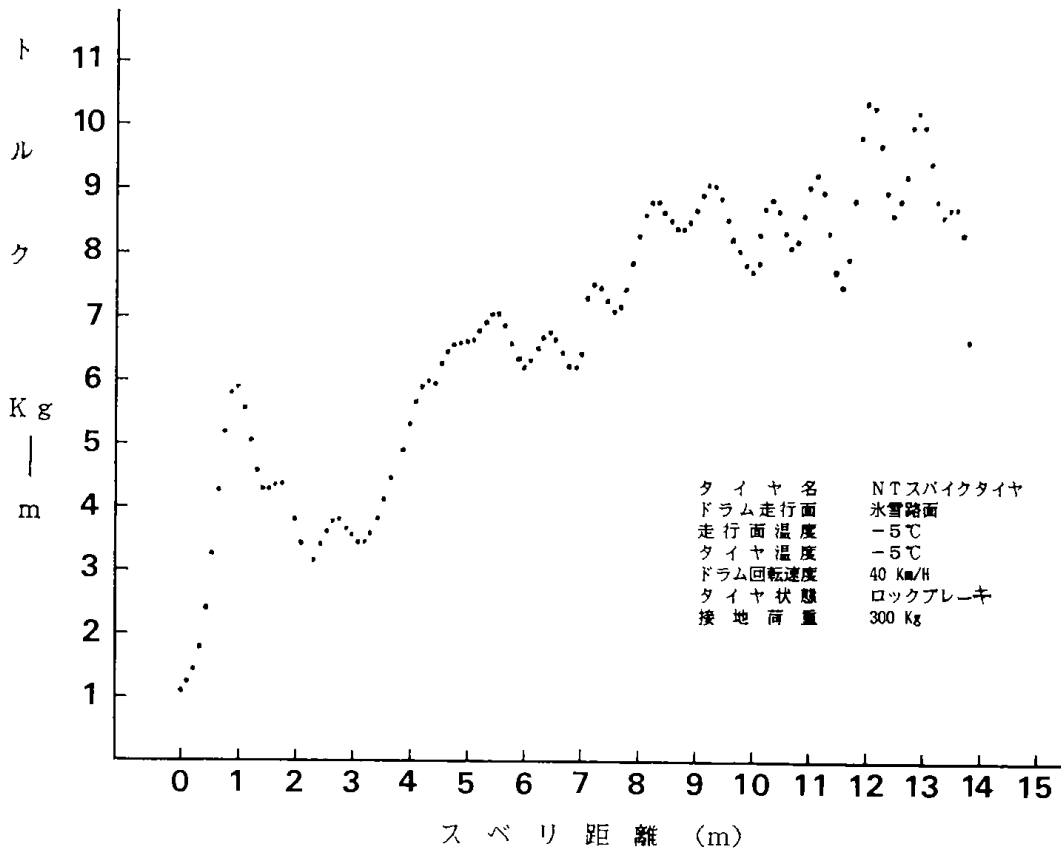
1万km走行したNTスパイクピンの突出寸法を図IV-3に示す。NTスパイクピンの突出寸法平均値は、低温時でショルダー部の方では+1.35mm、中心部の方では1.71mmで中心部が+0.36mm大きい。また、高温時では、タイヤトレッド表面温度は7℃、NTスパイクピンのフランジ周囲温度は、約21℃であった。その時の突出寸法は、ショルダー部の方では0.83、中心部の方では0.94mmで大きな差はなかった。NTスパイクピンタイヤの全体の突出寸法の平均値は、低温時（-5.0℃）では+1.53mm、高温時（ピンフランジ部周囲21℃）では0.89mmで温度差による突出寸法の差は0.64mmであった。なお1万km走行したA社スパイクピンの突出寸法をNTスパイクピンの低温時の測定方法で測定した結果を図IV-4に示す。A社スパイクタイヤの低温時（+5℃）のスパイクピン突出寸法の平均値は、ショルダー



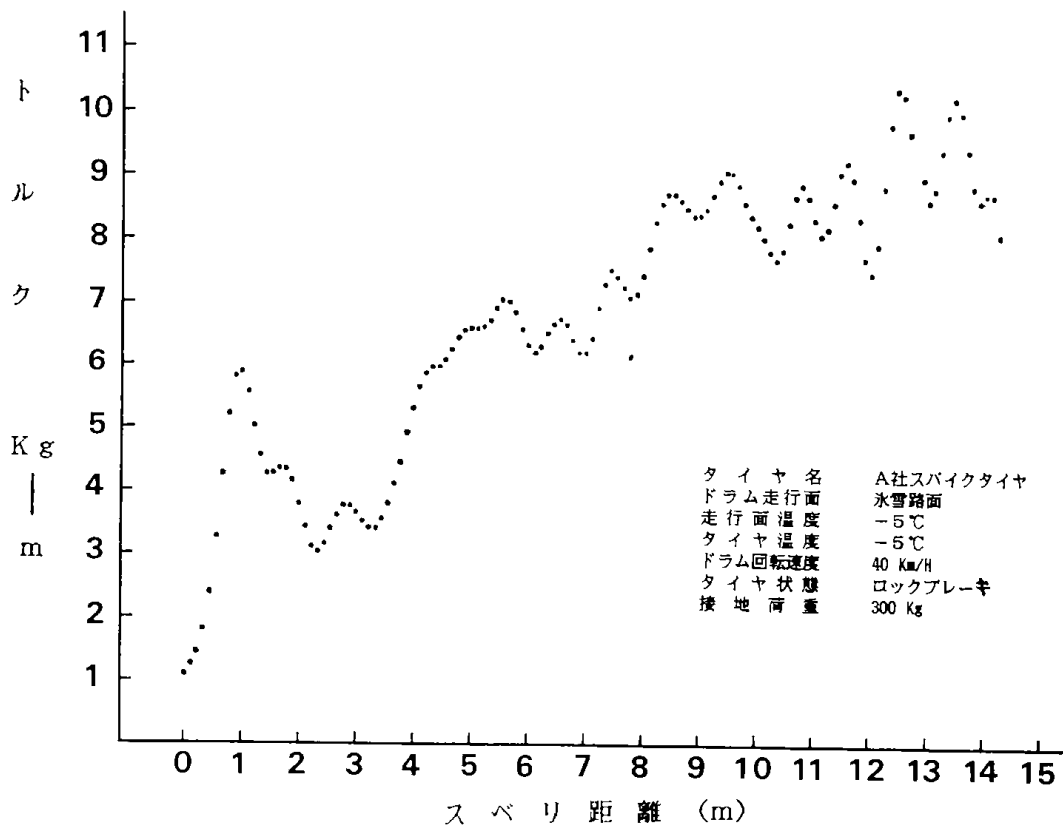
図IV-3 NTスパイクピンの突出寸法（1万km走行後）  
低温時…○  
高温時…△



図IV-4 A社スパイクピンの突出寸法（1万km走行後）



図IV-5 NTスパイクタイヤのトルク値—スベリ距離  
(氷雪路面)

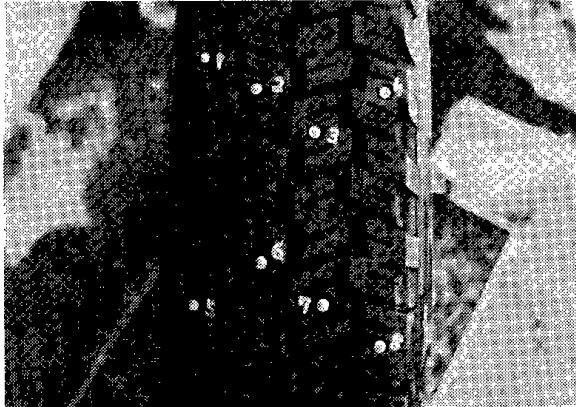


図IV-6 A社スパイクタイヤのトルク値—スベリ距離  
(氷雪路面)

部の方で+1.34, 中心部の方では+1.04でショルダー部の方が+0.30mm 大きい。また全体の突出寸法の平均値は+1.19mm であった。

#### IV-3-4 圧雪及び氷雪路面のトルク

1万 km 走行した供試スパイクタイヤ及び新品スタッドレスタイヤ (B社の165-80 R13) の氷雪路面, 圧雪路面のトルク値—スベリ距離曲線を図IV-5 ~10に示す。



写真IV-3 1万 km 走行後の NT スパイクピンタイヤ



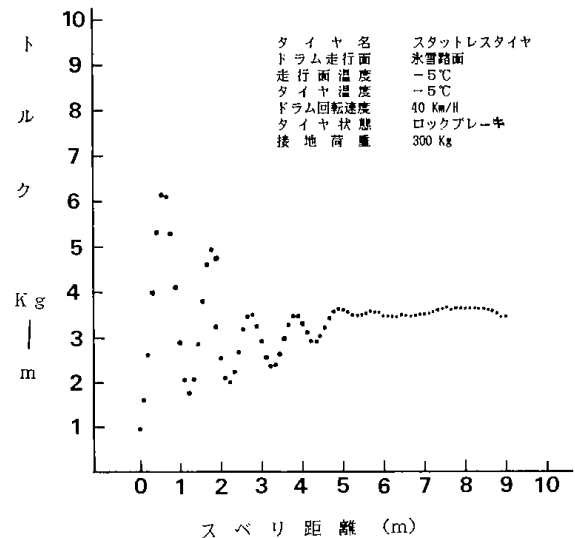
写真IV-4 1万 km 走行後の A 社スパイクタイヤ

また, 1万 km 走行後の NT スパイクタイヤ及び A 社スパイクタイヤを写真IV-3 及び 4 に示す。

図IV-5 に示した NT スパイクタイヤの氷雪路面でのトルク値は, スベリ距離が0.9m で5.9kg-m, その後 2 m 附近で3.0kg-m まで下がる。3 m あたりから再び上り始め, ドラム氷雪路面の1周距離 (9.42m) まで上り, その時のトルク値は9.1 kg-m であった。その後 2 回目氷雪路面に入るとさらに上下に振れながら少しずつ上昇する。

図IV-6 に示した A 社スパイクタイヤのトルク値—スベリ距離曲線は, ドラム 1 回目氷雪路面までは, NT スパイクピンタイヤとほとんど同じであるが, 2 回目氷雪路面に入ると僅かながらトルク値—スベリ距離曲線のピーク幅が大きくなる傾向が見られる。これは氷雪路面のスパイクピンひっかけ痕が, A 社スパイクタイヤの方が強くしっかいていることから考えられる。

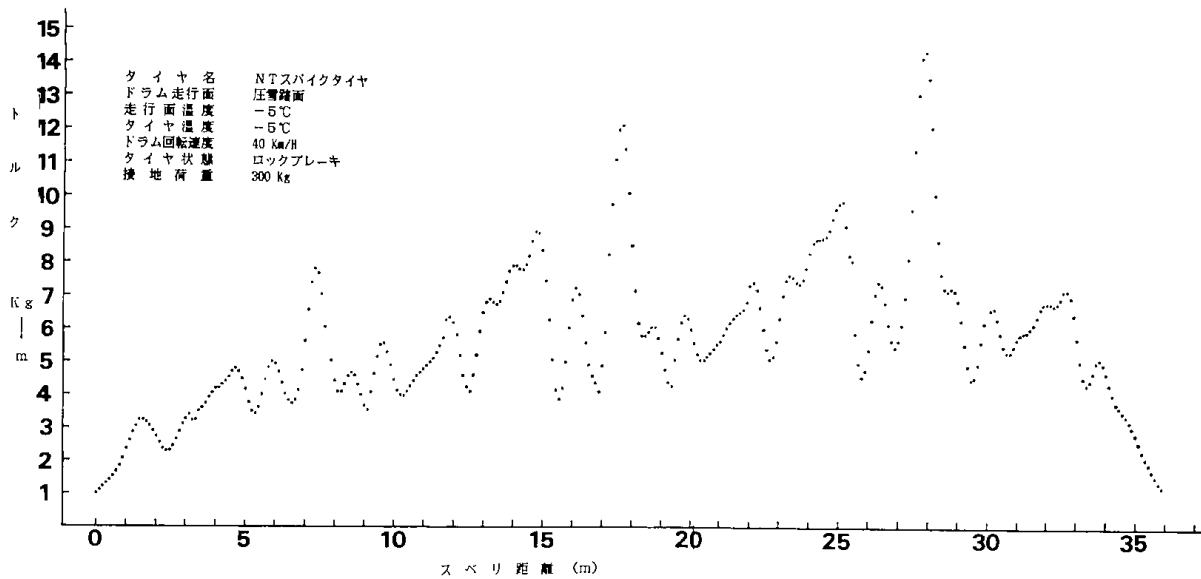
スパイクタイヤとスタッドレスタイヤとの比較では, 図IV-7 に示すようにスタッドレスタイヤ



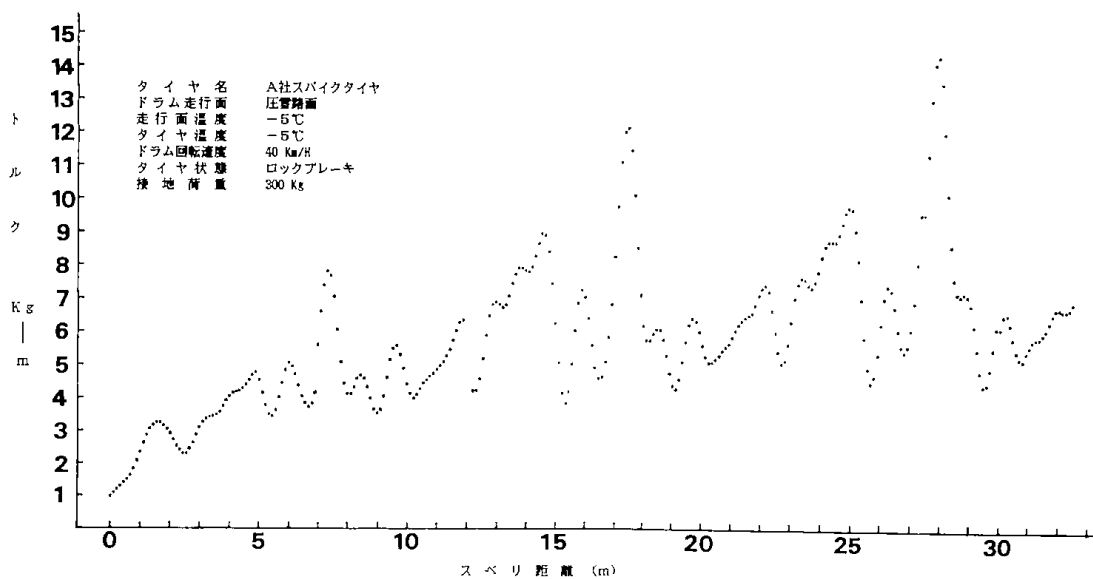
図IV-7 B社スタッドレスタイヤのトルク値—スベリ距離 (氷雪路面)

は, スベリ距離が0.6m 附近でトルク値が最大値の0.61kg-m となる。その後上下しながらスベリ距離 5 m 附近でトルク値3.6kg-m で一定となる。スパイクタイヤと比較すると対照的なトルク値—スベリ距離曲線を示す。

図IV-8 に示した NT スパイクピンタイヤの圧雪路面でのトルク値—スベリ距離曲線は, 周期的に拡大されながらトルク値は大きくなっている。



図IV-8 NTスパイクタイヤのトルク値—スベリ距離  
(圧雪路面)



図IV-9 A社スパイクタイヤのトルク値—スベリ距離  
(圧雪路面)

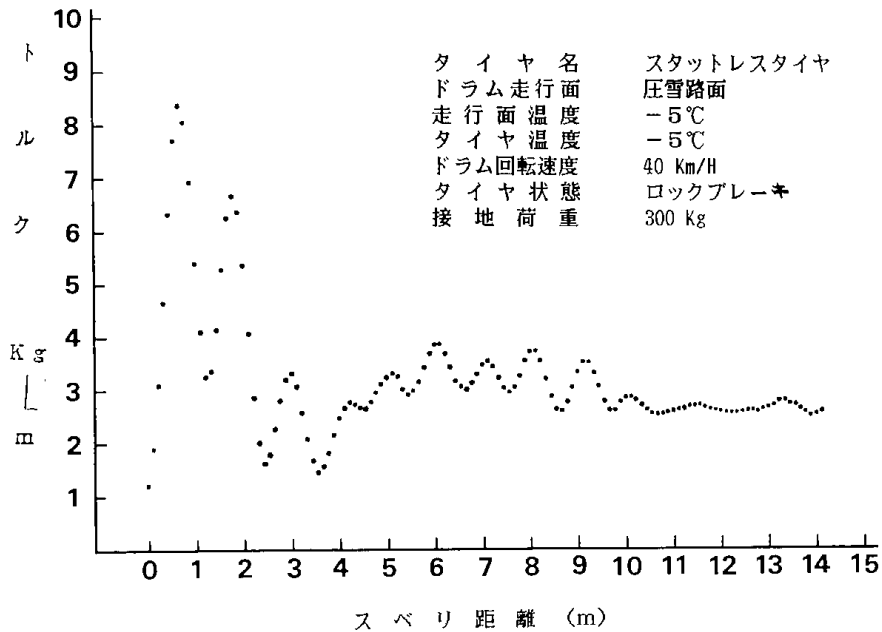
周期の最大値は、7.2mで7.9kg-m、17.5mで12.1kg-m、27.8mで14.3kg-mとなった。また、図IV-9に示したA社スパイクタイヤのトルク値—スベリ距離曲線は、NTスパイクタイヤと全く同じであった。

図IV-10に示したスタッドレスタイヤの圧雪路面でのトルク値—スベリ距離は、0.9m附近でト

ルク値が最大値の0.8kg-mとなる、その後スベリ距離が4～10m範囲でトルク値が2.6～3.8kg-mの幅で上下している。

2回目氷雪路面に入る9.5m附近では、トルクの上下はなくなり、2.6kg-mで一定値となる。スパイクタイヤと対比的トルク値—スベリ距離曲線を示す。





図IV-10 B社スタッドレスタイヤのトルク値—スベリ距離  
(圧雪路面)

#### IV-4 結論

札幌市地域内において、スパイクタイヤによって車粉じんが発生し始める時期に、NT スパイクピンタイヤ及びA社スパイクタイヤを1万 km 走行させ、基礎データを取得するための予備走行試験を行った。その結果をまとめると次の通りである。

- 1) ドラム内の冰雪及び圧雪路面で、時速40kmの速度で回転しているドラム走行路面に、NT スパイクタイヤをロックブレーキ状態で接地荷重300kg 押しつけた時のタイヤトルク値—スベリ距離の性能は、A社スパイクタイヤとほとんど変らなかった。
- 2) スパイクタイヤの突出寸法の平均値は、低温時で+1.53mm で充分保持していた。また、高温時+0.89mm で温度差による突出寸法の差は0.64mm で、1万 km 走行後でも差動することが判った。
- 3) スパイクピンの摩耗は、先端部で大きくなる

傾向がみられた。

- 4) スパイクタイヤとスタッドレスタイヤのトルク値—スベリ距離の比較では、冰雪路面及び圧雪路面のいずれにおいても、スタッドレスタイヤは、スベリ距離が0.9m 附近で最大トルク値となり、さらにスベリ続けるとトルク値は上下しながら小さくなり、冰雪路面では5 m 附近で、圧雪路面では2回目走行路面に入ると一定になる。新品スタッドレスタイヤと性能を比較しても、NT スパイクタイヤの方が良かった。
- 5) トレッドゴムの摩耗量は、NT スパイクピンタイヤの低温時の突出寸法が大きいのに、タイヤトレッドゴム摩耗量が大きいのは、舗装路面走行時には、NT スパイクピンの突出寸法、突出力が小さくなっているためトレッドゴム摩耗がし易くなったものと考えられる。

## 第V章 振動型荷重試験機によるタイヤ物性試験

窪田 大, 広木 栄三, 鈴木 良和

### V-1 緒言

積雪寒冷地における大量輸送機関としての自動車の普及により, その安全確保のために使用するスパイクタイヤが車粉じんや騒音等を発生させて大きな社会問題になっている。我々は雪氷路面における雪氷路用タイヤ(スパイクタイヤ, スタッドレスタイヤ等)の摩擦性能やスタッド(スパイク)の挙動に関する諸特性を検討するため, 室内試験機を使って実験を行っている<sup>1,2)</sup>。

本報告では試作振動型荷重試験機を用い, ドラムを使った室内試験や実車走行実験に必要な雪氷路用タイヤのゴム変形と荷重変動などの基礎的力学特性にして検討した。すなわち, 市販の雪氷路タイヤを使用して, 各種温度条件下( $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$ )のタイヤに振動型荷重試験機で負荷重や変位を与えながら, 低・中速走行状態におけるタイヤおよびトレッドゴムにかかる荷重変動特性を把握する実験を行ったのでその結果について報告する。

### V-2 実験方法

#### V-2-1 供試用タイヤ

市販の雪氷路用ラジアルタイヤ4種を供試用タイヤとした。これらはOHTSU165/80R13(タイヤA), POTENZAスパイクタイヤ165SR13(タイヤB), SEMITO165SR13(タイヤC)およびDIMPEL165SR13(タイヤD)である。但し, タイヤA, CおよびDはスタッドレスタイヤである。

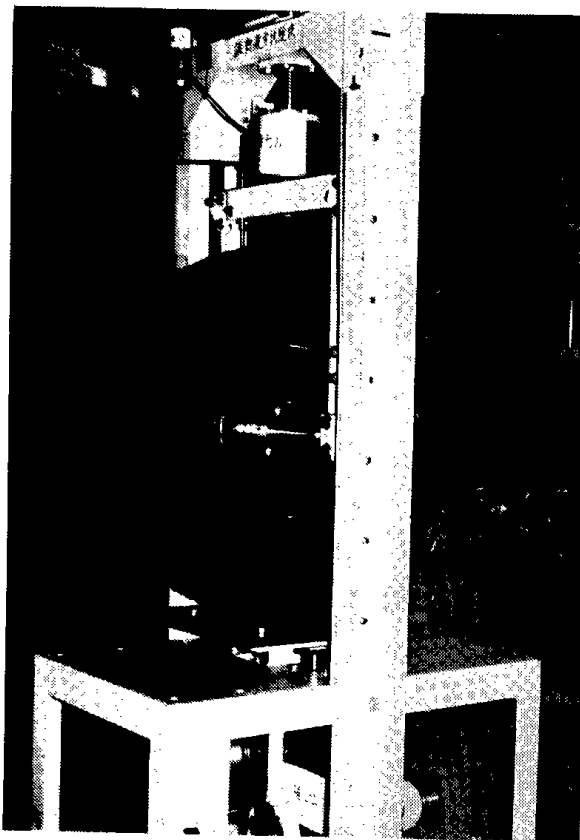
#### V-2-2 実験装置

タイヤは転動すると, 輪荷重により接地面でタイヤおよびトレッドゴムは変形する。このような走行状態を供試タイヤに与えて, 発生する荷重および変位を測定するため, 図V-1及び写真V-1に示す振動型荷重試験機を試作した。

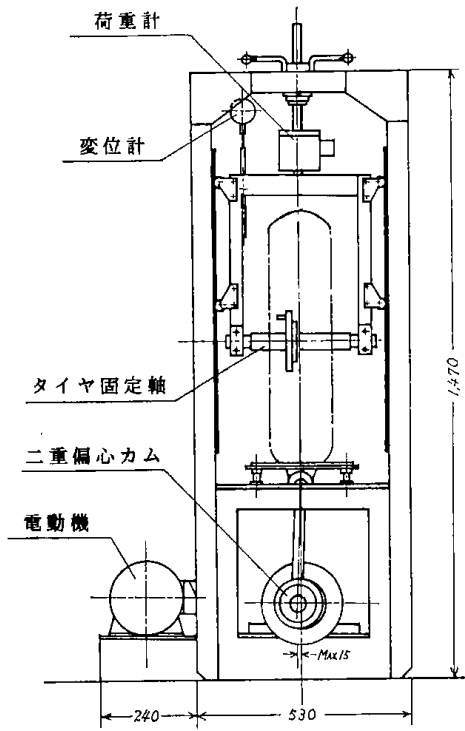
なお, 温度設定には低温域( $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $0^{\circ}\text{C}$ )は低温室の冷凍機駆動で, 室温域( $0^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$ )は本試験機全体を断熱チャンバーで被い, チャンバー内ヒータで昇温して温度設定した。

本試験機はタイヤ固定軸にタイヤを取り付け, 上部には荷重測定用ロードセル( $0\sim 500\text{kgf}$ )とゴム変形量測定用のダイヤルゲージ( $0\sim 50\text{mm}$ )がある。上部ハンドル(手動式)を左右回転することによってタイヤ固定軸を上下させ, タイヤに除負荷とゴム変形を与えるようになっている。下部のタイヤ接地盤(今回は乾燥金属板使用)は, タイヤに任意のゴム変形( $0\sim 30\text{mm}$ )を与えることができる二重偏心カム機構からなっている。

走行速度の設定はタイヤが接地盤を一定速度で走行しているものと想定して次のようにした。カムを回転させて接地盤を上下運動させるために, インバーターで制御された周波数を任意( $10\sim 80\text{Hz}$ )に変えることによって回転数を調整し, そのときの接地盤の1分間当りの繰り返し数からタイ



写真V-1 試験機とタイヤ取り付け架台



図V-1 振動型荷重試験機本体部

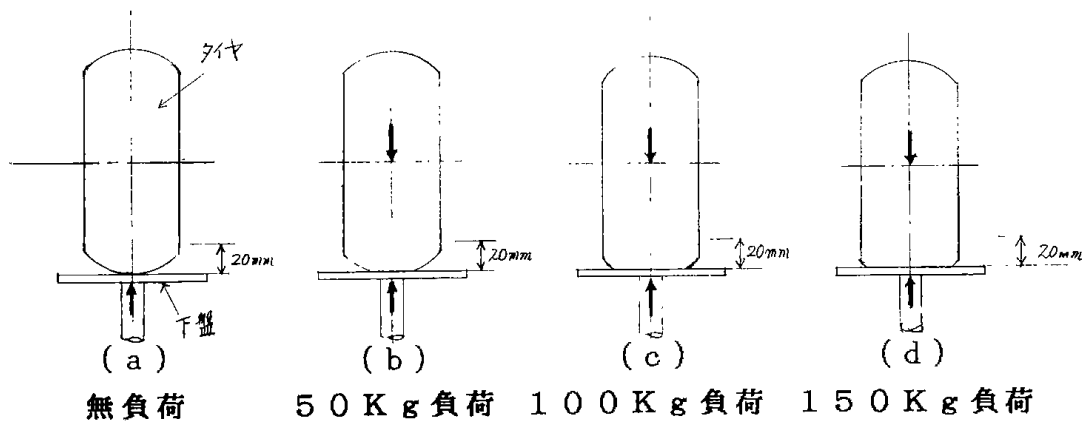
ヤ(直径約0.6m)が路面走行したものと距離を求めた。それをタイヤ走行速度として実験を行った。

計測は荷重、ゴム変形量の測定のほか、カムの上下運動の回転を記録するため、カム軸に接続するシャフトに回転用センサーを取り付け、低温室の外で一括測定できるようにした。なお、タイヤの交換と空気圧の調整はすべて試験室内で行った。

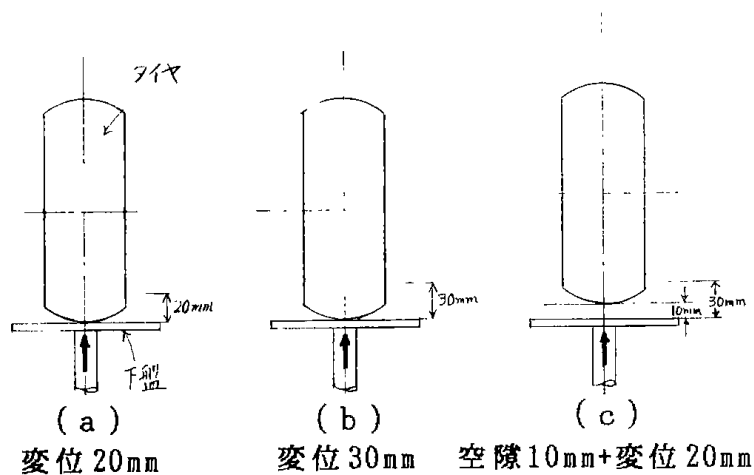
### V-2-3 測定方法

#### V-2-3-1 タイヤの荷重およびゴム変形量の測定

タイヤの荷重負荷とゴム変形量の測定方法を図V-2および図V-3に示す。上部ハンドルを回してタイヤ固定軸に任意の設定荷重(0~500kgf)を加えた。図V-3で示すように任意の変形(0~30mm)になるように偏心カムの位置を調整して、接地盤を上下運動させて、タイヤに繰り返し変形を与えるようにしてある。



図V-2 タイヤ負荷方法とゴム変位



図V-3 タイヤの変位方法

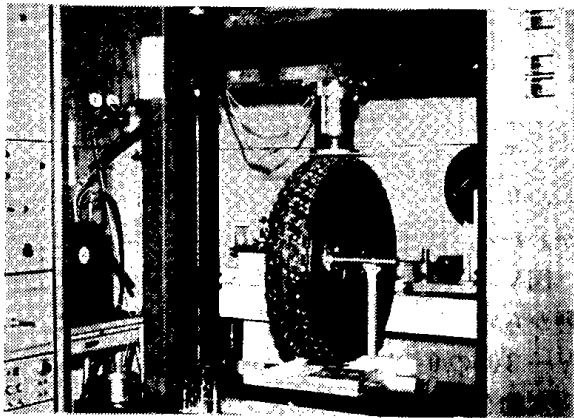
### V-2-3-2 タイヤの硬度測定

ゴム硬度計 (JISA) を用いて、設定温度条件でタイヤトレッド表面に押し付け、5ヶ所を測定して平均値を求めた。

### V-3 実験結果と考察

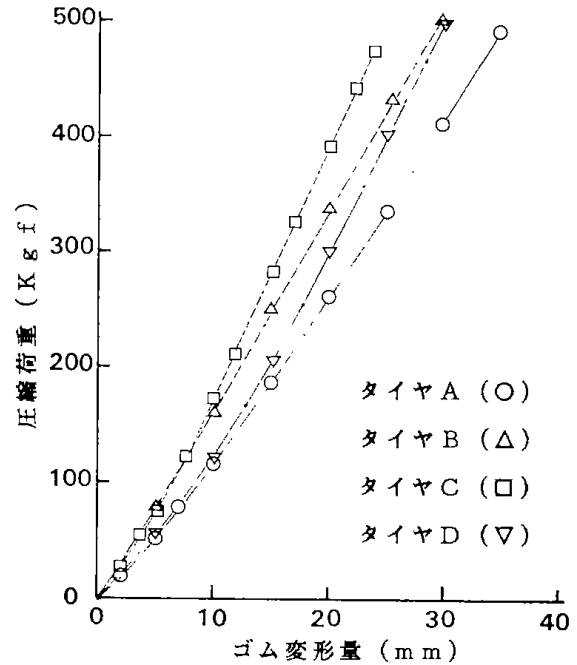
#### V-3-1 各種タイヤの圧縮特性

供試用タイヤの圧縮荷重とゴム変形量を調べるため、恒温恒湿室 (23°C, 50% RH) 内に設置された写真V-2 に示すインストロン試験機にタイヤ

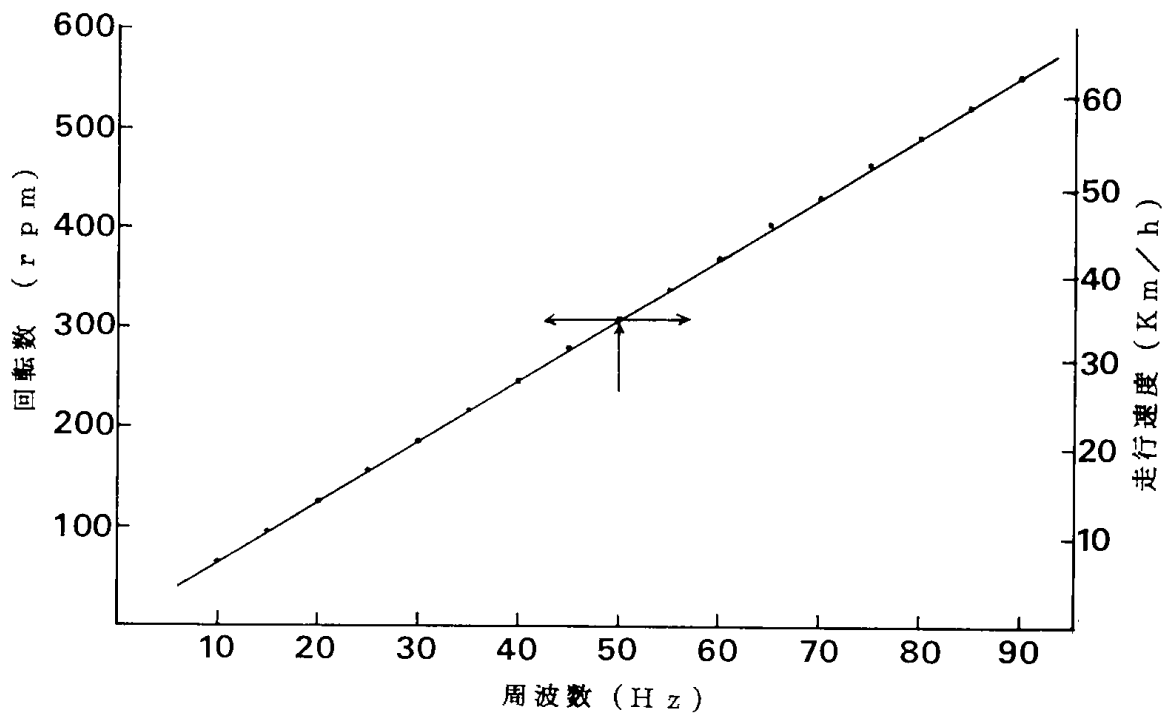


写真V-2 インストロン試験機と取り付け架台

取り付け架台を設定して測定した。その結果を図V-4 に示す。この図から荷重300kgf 時でゴム変形の大きい順序は、



図V-4 各種タイヤの圧縮特性



図V-5 周波数と回転数および走行速度との関係

タイヤA>タイヤD>タイヤB>タイヤCであった。

タイヤAのゴム変形量20mm時の荷重を基準にして他のタイヤと比較すると、タイヤCが1.63倍、タイヤBが1.27倍、タイヤDが1.22倍となり、市販の雪氷路用タイヤの種類により、圧縮荷重によるタイヤおよびゴム変形量に大きい相違があることがわかった。

### V-3-2 走行速度による各種タイヤの繰り返し荷重によるタイヤおよびゴム変形量の関係

図V-5は周波数と回転数（ここではタイヤ接地盤の上下繰り返し数）の関係を示す。図から明らかに比例関係を示している。ここではタイヤの回転数を次式によって走行速度に換算した。

$$V = 60\pi ND \dots\dots(1)$$

V：走行速度 (km/h), D：タイヤ直径 (m)

N：繰り返し数 (回/分) とする。

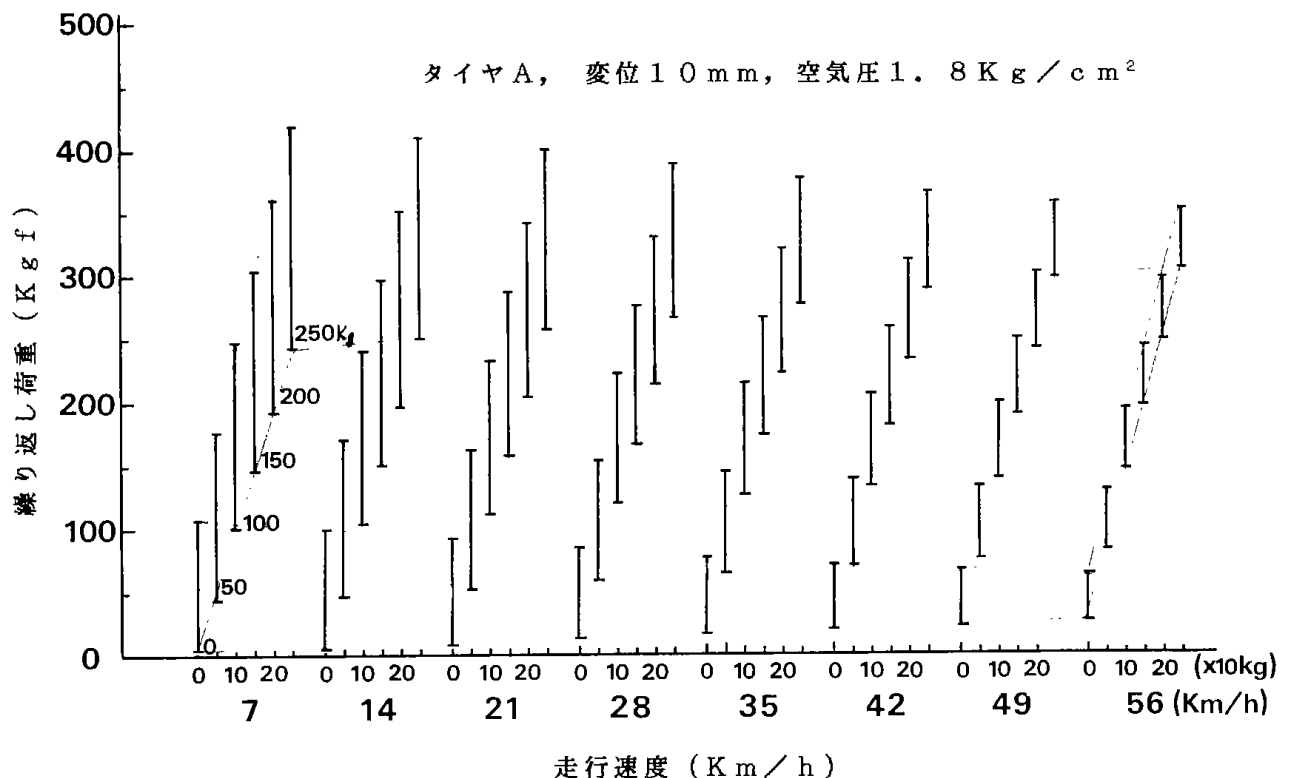
いま、タイヤAを例にとり、走行速度をいろいろ変え、タイヤを0~30mmまで変形させた時の繰り返し荷重変動を示したのが図V-6~V-9である。

図V-6ではタイヤAを温度20℃、空気圧1.8

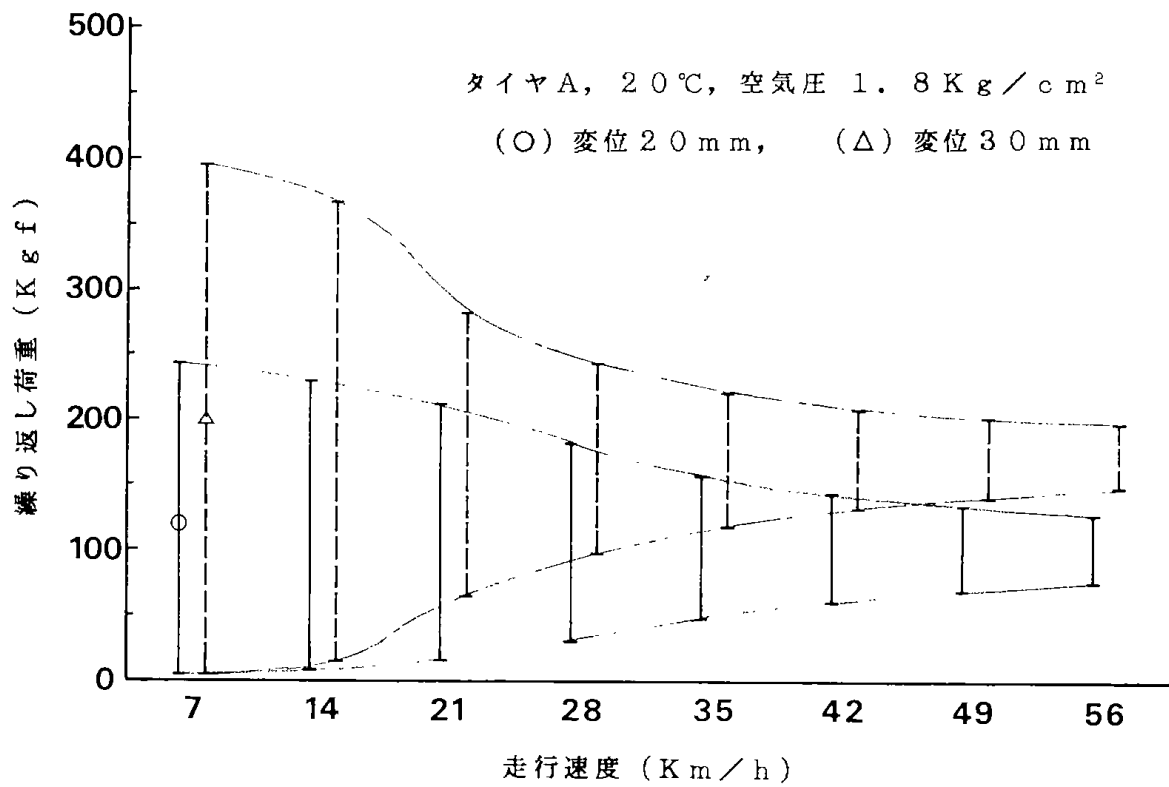
kgf/cm<sup>2</sup>、初期負荷状態(0~250kgf)でタイヤにゴム変形0~10mmを与えながら7~56km/hで走行した時の繰り返し荷重変動を示した。図中の初期無負荷時(0kgf)と初期荷重(250kgf)負荷変動を比較すると、初期無負荷状態でゴム変形をさせた場合、走行速度7km/hで5kgf~108kgf、56km/hでは26~64kgfを示したのに対し、初期荷重250kgf負荷時では走行速度7km/hで244~418kgf、56km/hで304~352kgfの荷重変動を示している。上記の荷重変動は、荷重上限が低速度ほど大きく、高速度になるほど小さくなっている。また荷重下限では逆に高速度になるにつれて値が大きくなっている。この結果から、タイヤがある負荷重で変形しながら走行した場合には低速度ほど大きな荷重変動を受けるのに対し、高速度では荷重変動幅が狭くなっていることがわかる。

図V-7ではタイヤAを図V-2(a)の無負荷状態から定速度で図V-3(a)の0~20mmまたは図V-3(b)の0~30mm変形させた時の繰り返し荷重変動を示す。

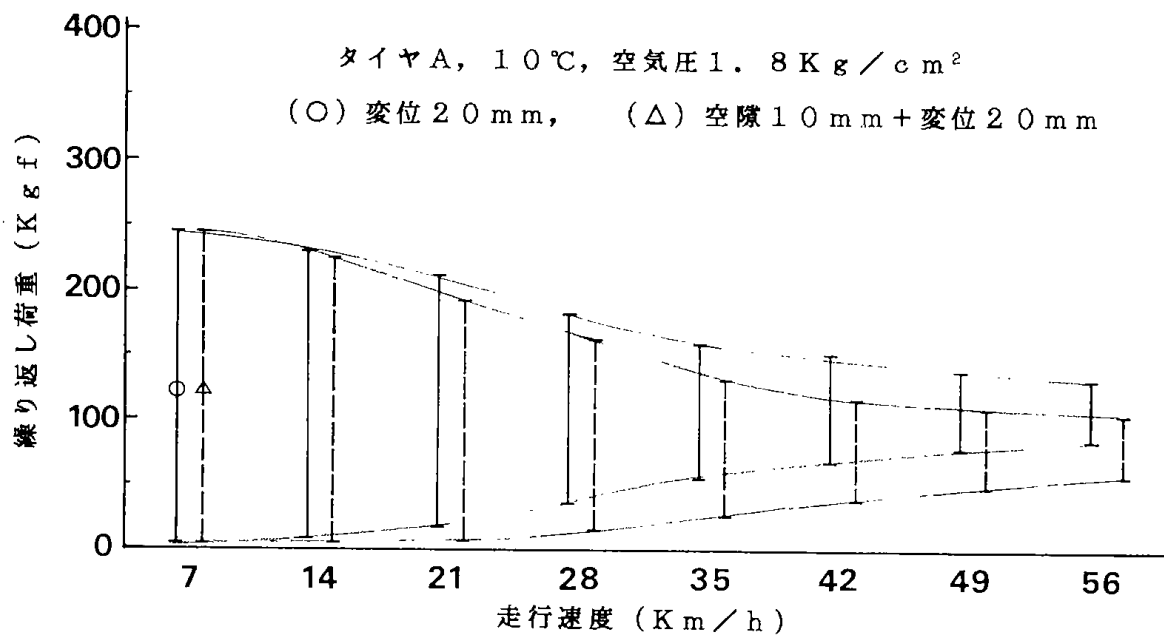
図V-7から0~20mm変形させた時の荷重変動は走行速度7km/hおよび56km/hではそれ



図V-6 一定負荷時での走行速度と荷重変化



図V-7 ゴム変位による走行速度と繰り返し荷重



図V-8 ゴム変位による走行速度と繰り返し荷重

ぞれ5~244kgf, 75~127kgfであった。また0~30mm変形の場合の荷重変動はそれぞれ5~395kgf, 144~196kgfであった。従って, 0~20mm変形で走行速度56km/hの荷重上限は7km/hの52%減, 0~30mmのそれは49%減となり両変形とも約50%の低下率であった。これに対して, 0~20mm変形では走行速度56km/hの荷重下限が7km/hの1.5倍, 0~30mm変形のそれは2.9倍と変形の大きい方が約2倍も大きくなっている。

図V-8にはタイヤAを図V-3(a)に示す変形20mmと図V-3(c)に示す空隙10mm+変形20mmにして走行した時の繰り返し荷重変動を示す。どちらもタイヤに与える変形は0~20mmであるが, 一方は路面に接触している状態で, 他方は路面より10mm上部にタイヤがあり, そこで接触して20mm変形するようにしている。この図から走行速度7km/hでは荷重変動に差は見られないが, 56km/hになると20mm変形の方が空隙+変形20mm時よりも荷重上限で1.24倍, 荷重下限で1.52倍と大きい値を示した。

このことは, タイヤの変形が低速度(7km/h)では回復するため荷重変動に差があらわれず, 速度が速くなるほどタイヤの変形が回復しないうち

に次の変形が始まるので, 20mm変形の方が空隙10mm+20mm変形よりも繰り返し荷重変動が大きい値になるものと考えられる。すなわち, タイヤが一種の粘弾性体であるために走行速度が速くなるにつれ, ゴム変形に遅れを生じ追従できなかったものと思われる。

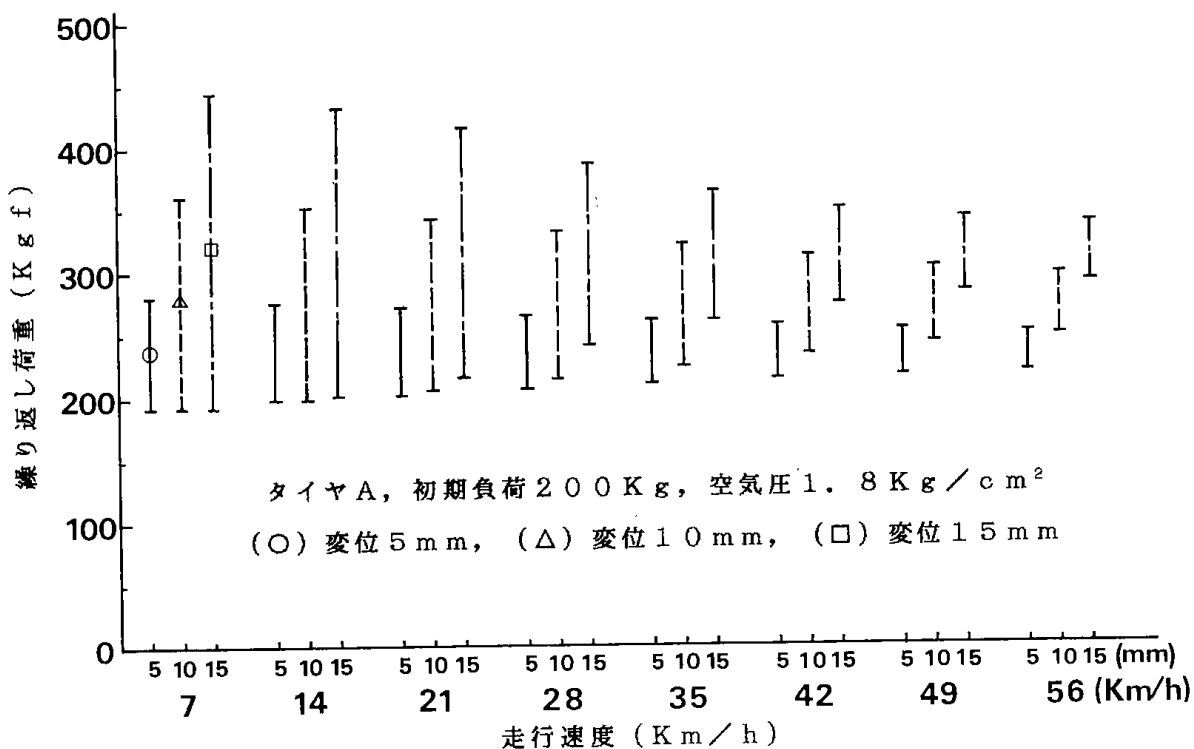
図V-9ではタイヤに初期荷重200kgfを負荷しながら, 所定の速度でゴム変形(0~5mm, 0~10mm, 0~15mm)した時の繰り返し荷重を示したものである。

図から, 低速度でゴム変形を大きくした方が荷重変動幅が広がっているのが分かる。また速度が速くなると逆に荷重変動幅が狭くなっており, 図V-6で示した荷重を増加させた時と類似の挙動を示している。

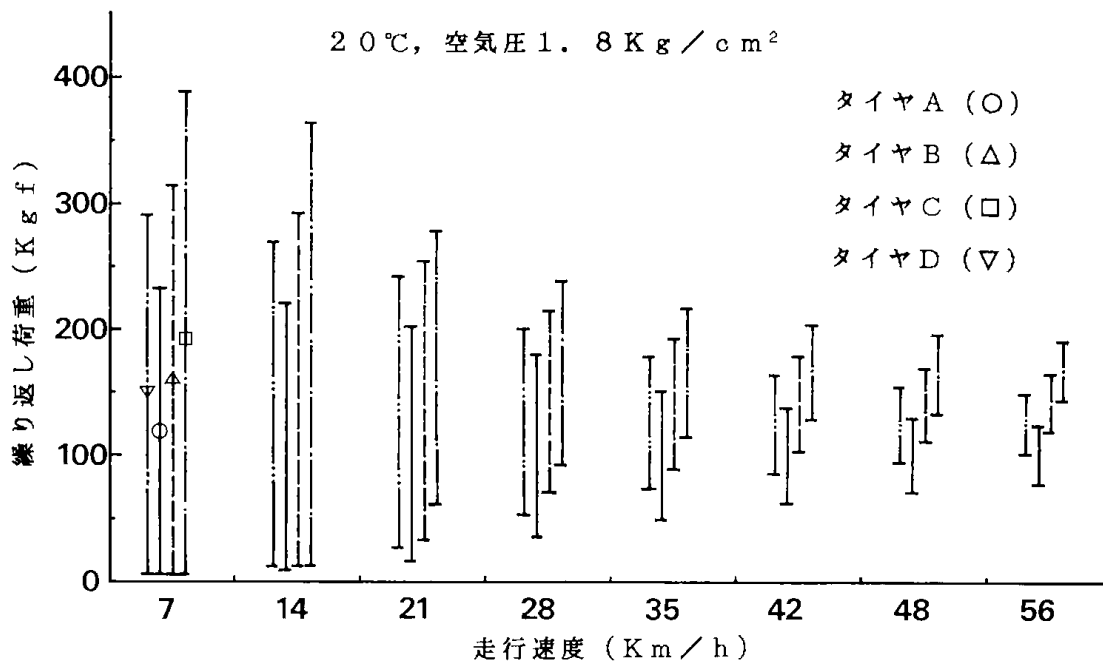
図V-10は初期無負荷状態でゴム変形20mmさせた時の各種タイヤの走行速度と繰り返し荷重変動をまとめて示す。この結果, 各種タイヤとも低速度では繰り返し荷重変動幅が大きく, 荷重変動幅および荷重上限の大きい順位は,

タイヤC>タイヤB>タイヤD>タイヤAであった。

高速度になるとタイヤ間の荷重変動幅の差は小さくなっているが, 荷重上限値の大きい順位は低



図V-9 一定負荷時での走行速度と荷重変化



図V-10 各種タイヤの走行速度と繰り返し荷重

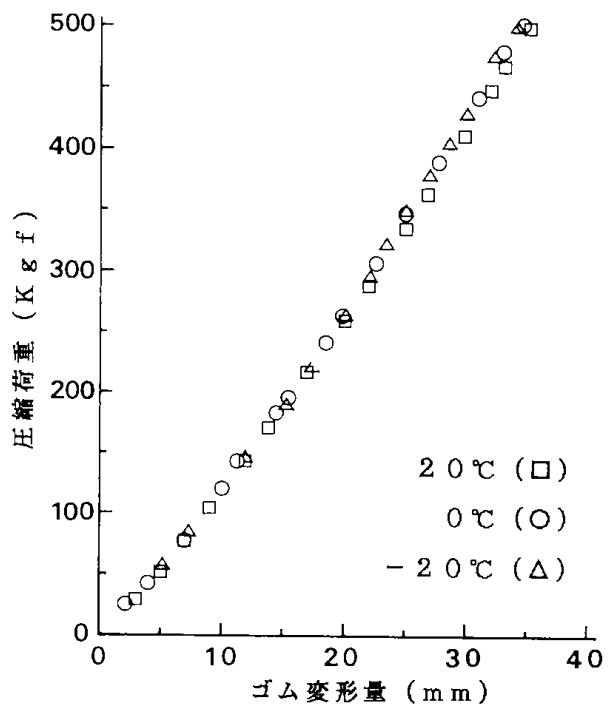
速度の場合と変わらないことがわかった。また、図V-10では各種タイヤの繰り返し荷重上限値が大きく低下する走行速度は、タイヤAの場合30 km/h 付近、タイヤBでは24km/h 付近、タイヤCでは17km/h 付近並びにタイヤDでは26km/h 付近にそれぞれ見られた。

例えば、タイヤCの走行速度の場合をみるとゴム質が硬いため、低速度からゴム変形の回復に遅れを生じ、繰り返し荷重の低下が著しい。その他のタイヤ (A, B および D) では硬度が同じくらいであるが、タイヤBではスパイクとトレッドパターンによる回復の遅れ、タイヤDではトレッドパターンの形状の影響などで変形がこれに追従できないためと考えられる。なおタイヤAは軟質でサイピングが入っており、速度にも追従し急激な繰り返し荷重の低下が若干速度の高い方に移っている。このことから、荷重変動幅が比較的安定するのは各タイヤとも走行速度40km/h 以上であった。

### V-3-3 温度による各種タイヤの圧縮特性への影響

各種タイヤについて温度差(-20°C, 0°C, 20°C) にきよるゴム変形量と圧縮荷重の関係を図V-11~14に示す。但し、設定温度毎に空気圧を1.8 kgf/cm<sup>2</sup>に調整した。

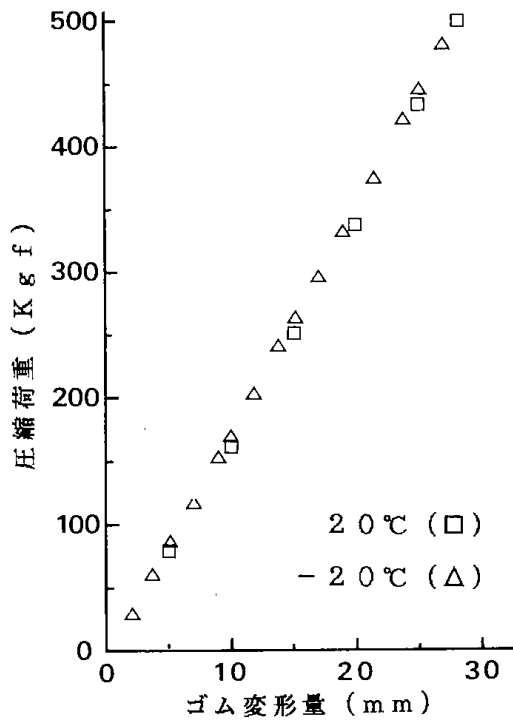
タイヤA (図V-11) およびタイヤB (図V-



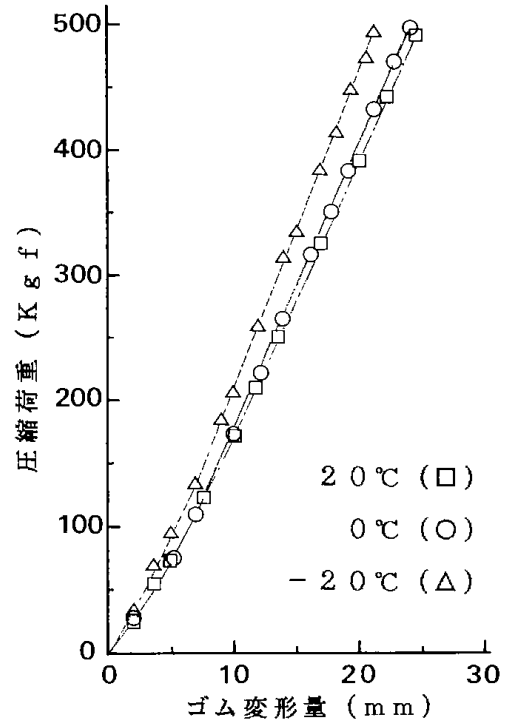
図V-11 各温度によるタイヤAの圧縮特性

12) は温度による影響は小さい。これに対して、タイヤC (図V-13) およびタイヤD (図V-14) では温度差による影響が見られる。すなわち、温度が低い(-20°C)ほど室温時(20°C)に比べて同一ゴム変形量に対して圧縮荷重が大きくなっている。

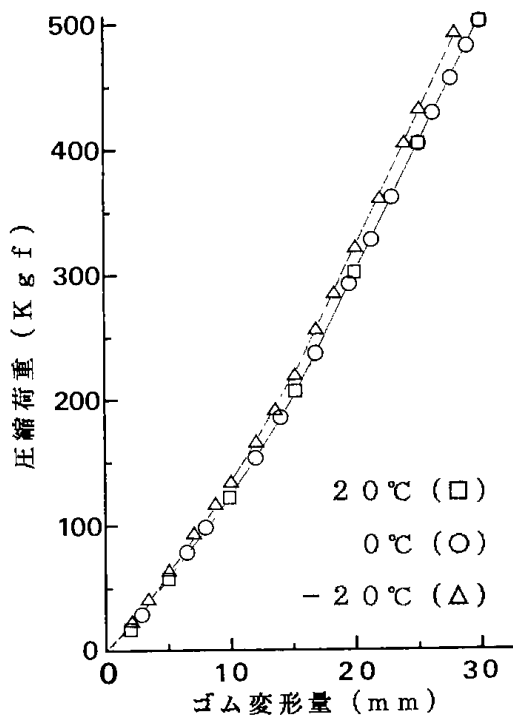




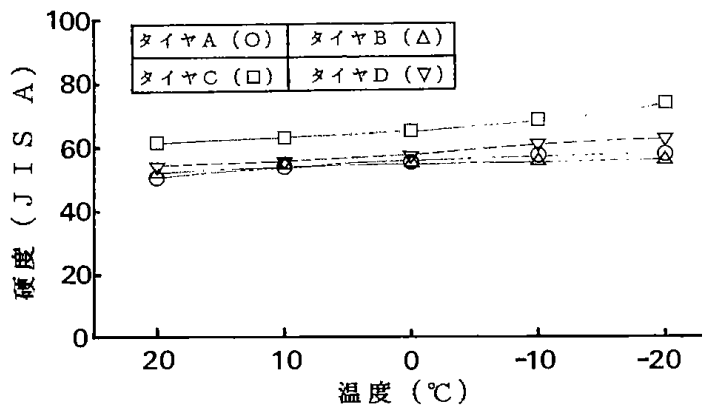
図V-12 各温度によるタイヤBの圧縮特性



図V-13 各温度によるタイヤCの圧縮特性



図V-14 各温度によるタイヤDの圧縮特性



図V-15 各種タイヤの温度による硬度特性

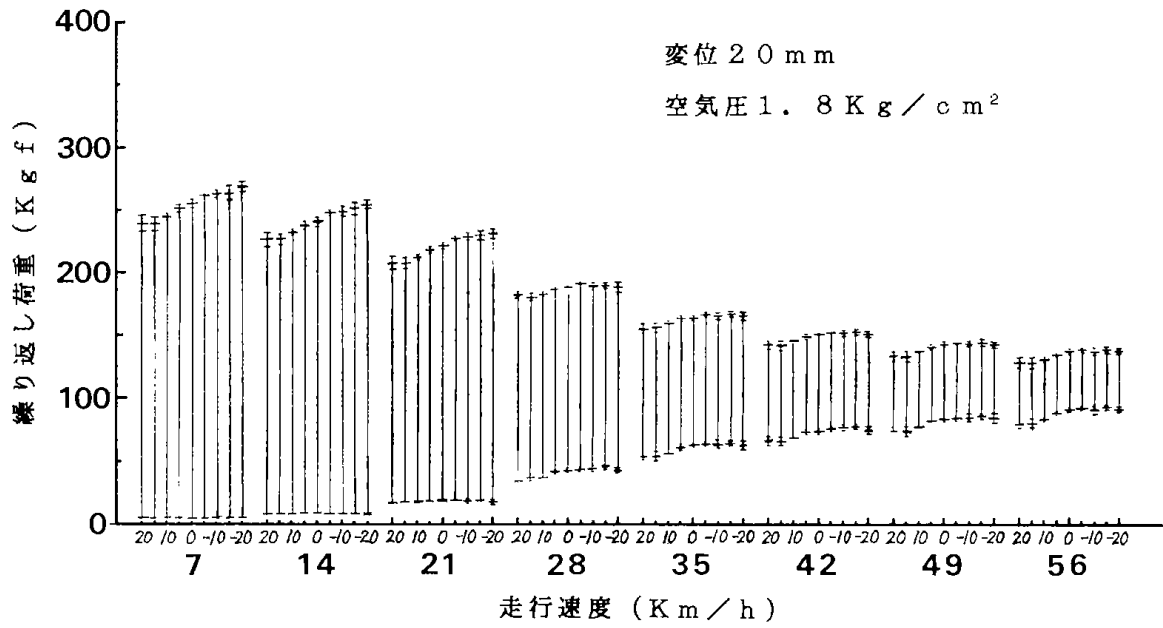
図V-15は温度による各種タイヤのゴム硬度への影響を示す。

この図では、タイヤCが他のタイヤに比べて、室温時より硬度が高く、温度が低くなるほど硬度

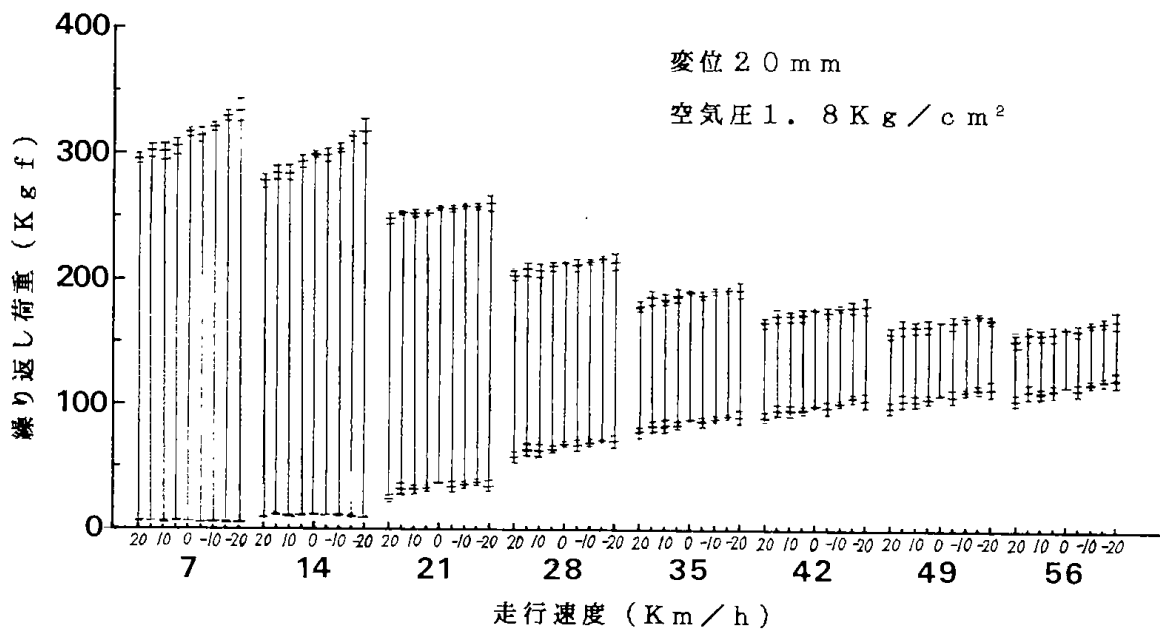
が一層高い値を示している。これは図V-13で示したようにタイヤCはゴム変形が小さくても圧縮荷重が増加することからも明らかである。

次に各種タイヤについて各温度(-20°C~20°C)によるゴム変形量と繰り返し荷重への影響を調べるため、走行速度を変えてゴム変形を与えた時の繰り返し荷重変動を測定した。その結果を図V-16~21に示す。

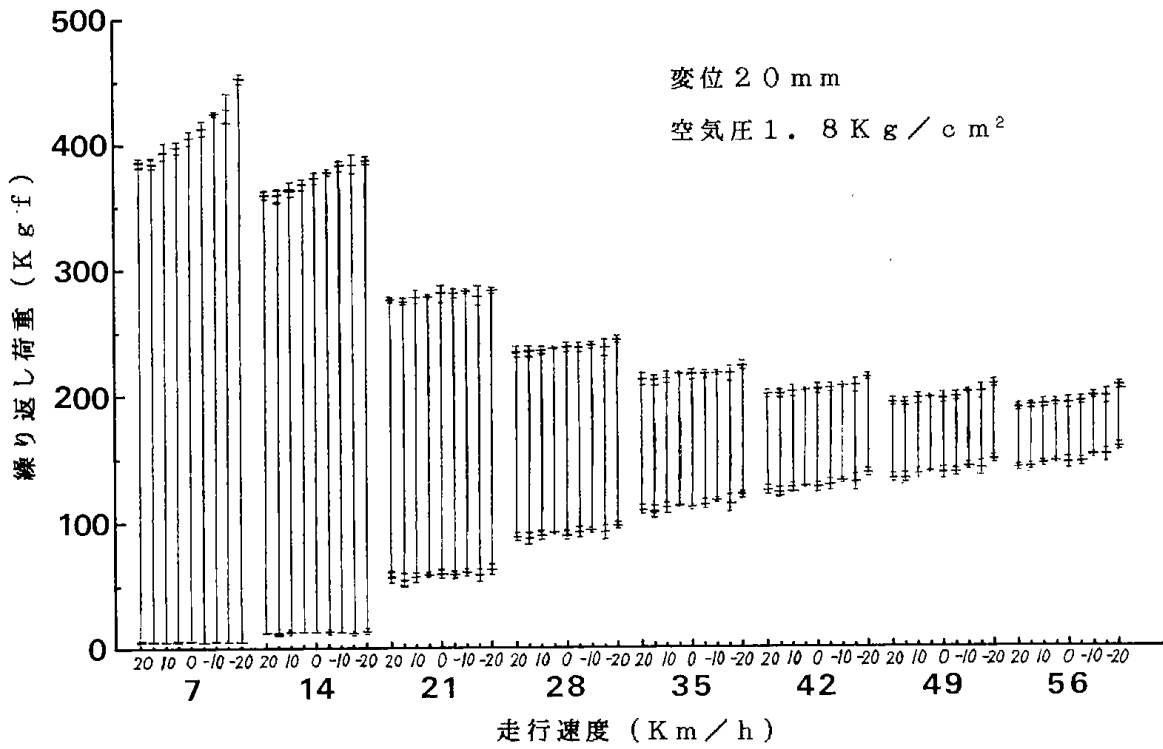
いま、図-17でタイヤBの測定結果を例に説明すると、速度が7 km/hでは20°Cで繰り返し荷重が5~295kgfであったが、-20°Cでは5~335 kgfと荷重上限の値が大きくなっている。しかし



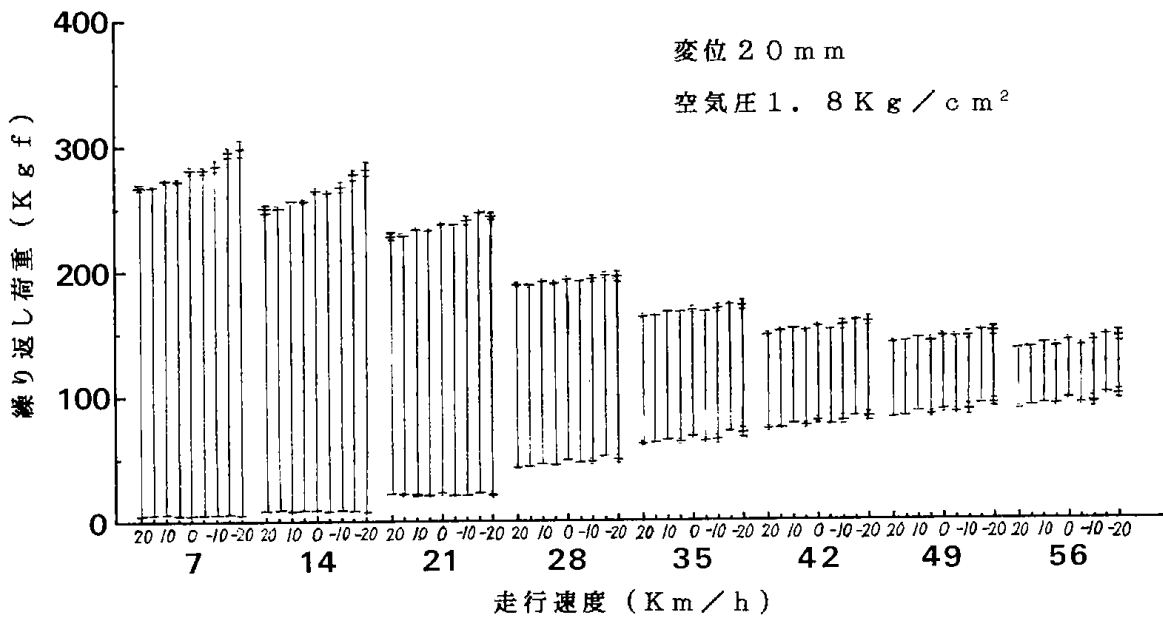
図V-16 各温度によるタイヤAの走行速度と繰り返し荷重



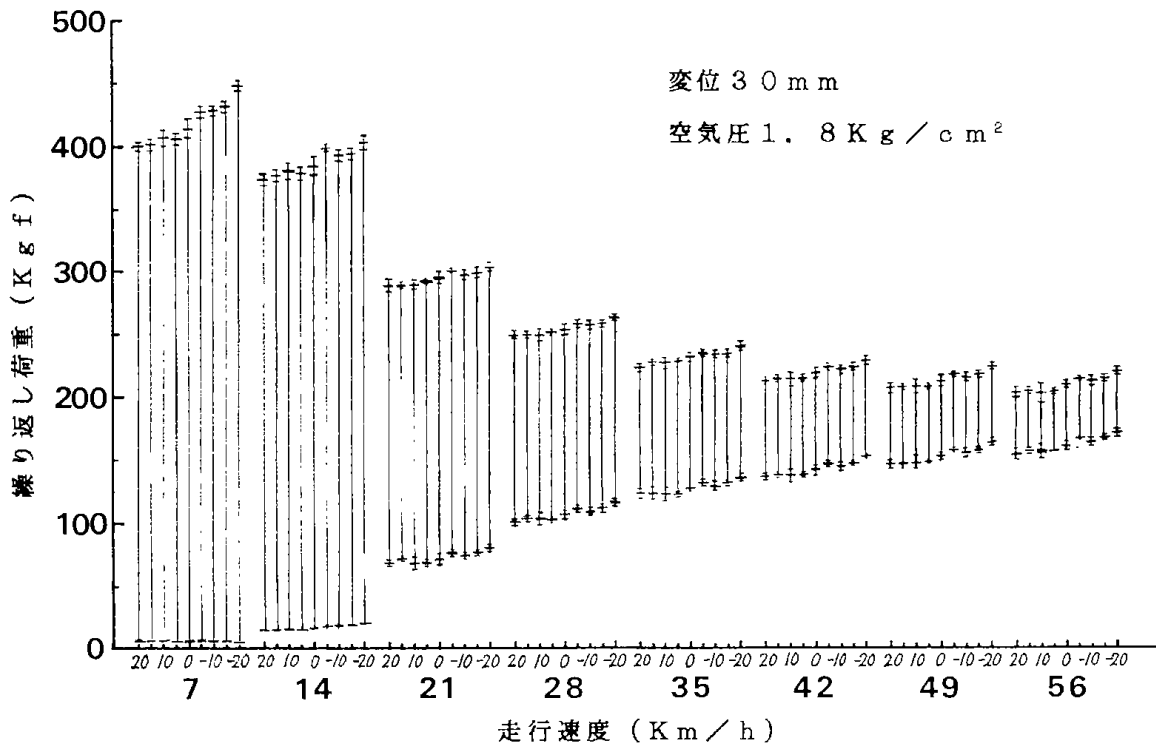
図V-17 各温度によるタイヤBの走行速度と繰り返し荷重



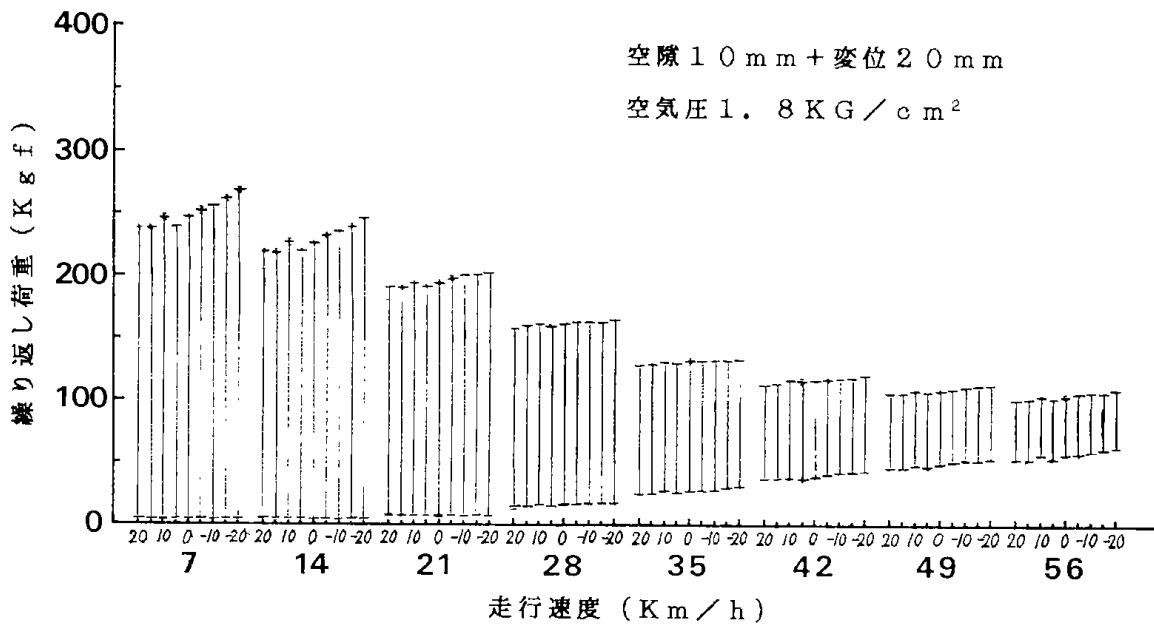
図V-18 各温度によるタイヤCの走行速度と繰り返し荷重



図V-19 各温度によるタイヤDの走行速度と繰り返し荷重



図V-20 各温度によるタイヤAの走行速度と繰り返し荷重



図V-21 各温度によるタイヤAの走行速度と繰り返し荷重

高速度 (56km/h) になると荷重変動幅も20°Cで105~155kgf, -20°Cで120~170kgfの荷重変動幅となり低速度に比べて狭くなっている。すなわち、低速度時に比べて荷重上限の値が減少し、荷重下限の値が高い値を示している。このような傾向は図V-16, 図V-19, 図V-20および図V-21に示す他のタイプやゴム変形量の異なる場合(図V-7~図V-9)に対しても同じような傾向を示している。また温度による影響は低速度で低温度ほど各種タイヤの荷重変動に影響を与えていることがわかる。

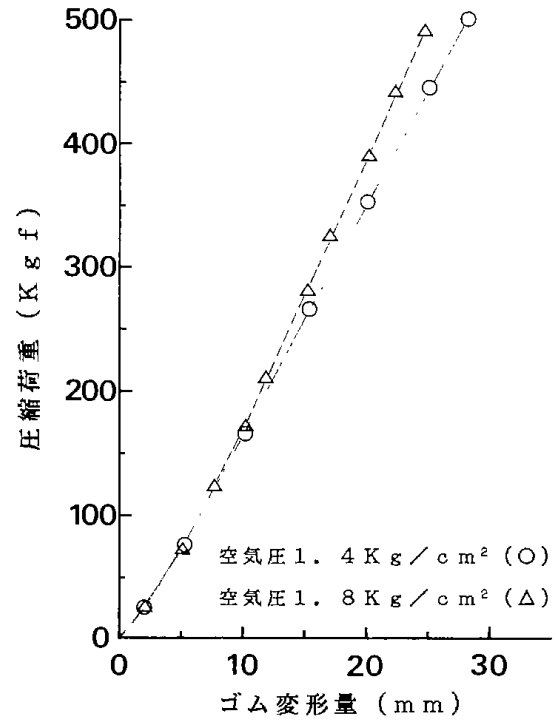
#### V-3-4 空気圧による各種タイヤの圧縮特性への影響

1例として、圧縮荷重の大きいタイヤCについて、空気圧の違いによるゴム変形量と圧縮荷重の関係を図V-22に示した。

図では標準圧(今回は1.8kg/cm<sup>2</sup>)の方が低い空気圧(1.4kg/cm<sup>2</sup>)の時より、ゴム変形が大きくなるとともに圧縮荷重が大きくなっている。

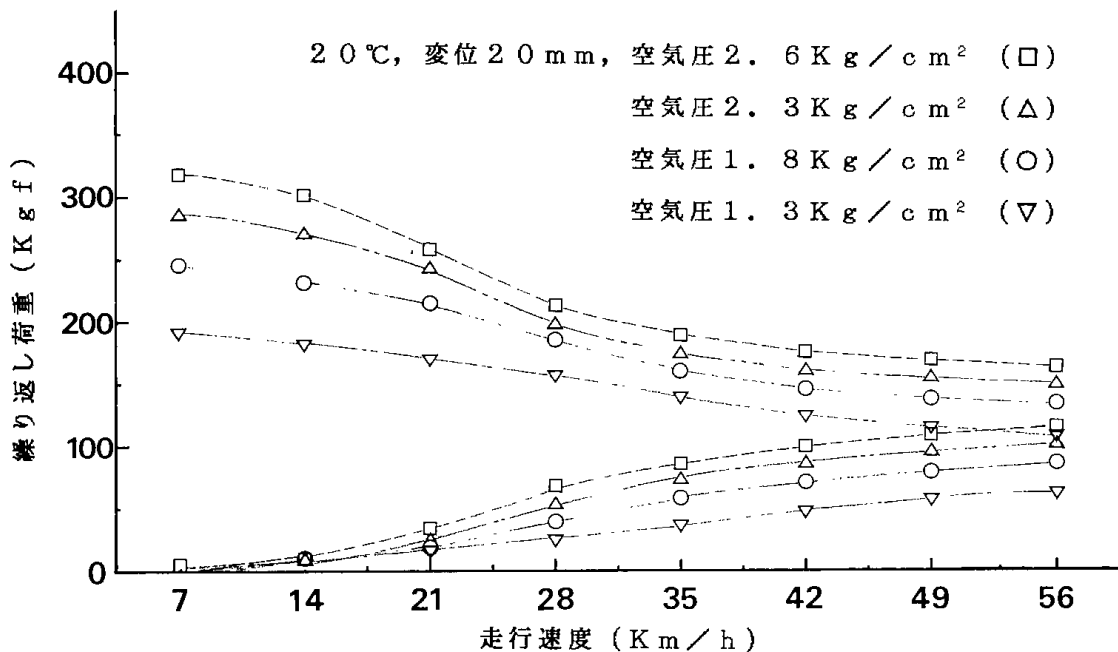
図V-23~V-26には各種タイヤの空気圧と走行速度を変えてゴム変形(0~20mm)させた時の繰り返し荷重の変動を測定した結果を示す。

いまタイヤB(図V-24)を例として、空気圧と荷重変動を比較してみると、空気圧の高い2.6kgf/cm<sup>2</sup>では荷重上限・下限ともに高く、標準空気圧の荷重上限値を基準に比べると、7km/hでは約1.3倍、56km/hでは1.24倍の荷重増加が

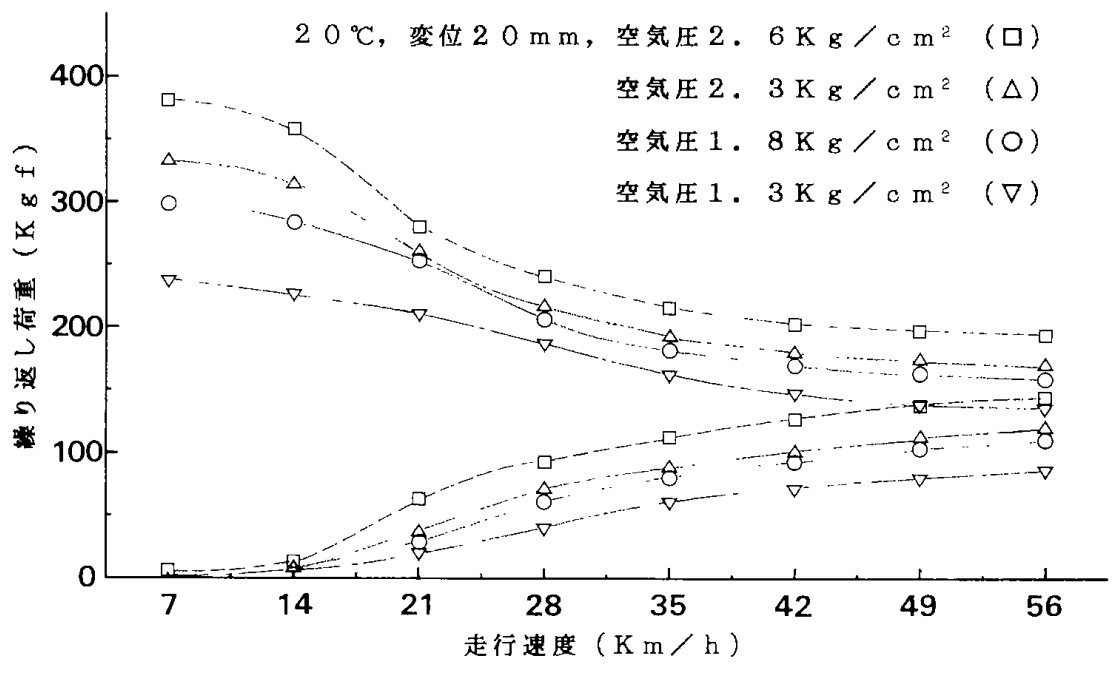


図V-22 空気圧によるタイヤCの圧縮特性

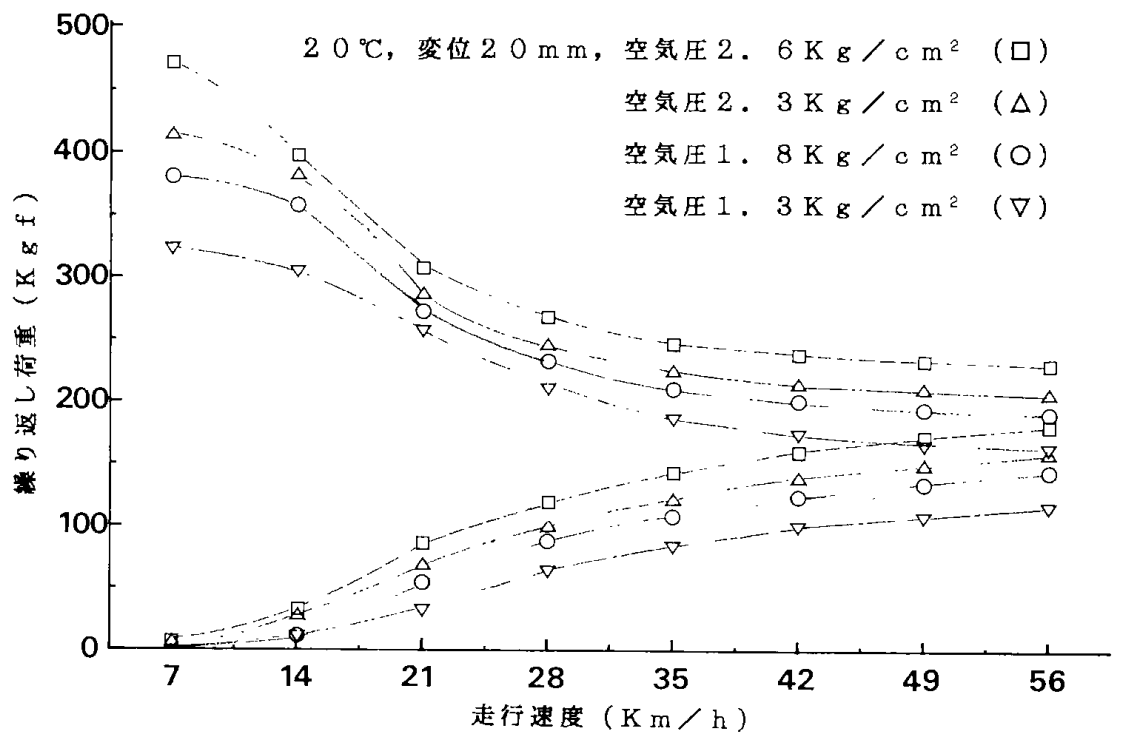
見られた。また空気圧の低い1.3kgf/cm<sup>2</sup>で7km/hの場合は標準空気圧時の0.8倍になっている。このような傾向はタイヤA(図V-23), タイヤC(図V-25)およびタイヤD(図V-26)の場合にも見られており、タイヤの空気圧の相違によって荷重変動はかなり敏感に影響を受けていることがわかる。今回の実験では標準空気圧のタイ



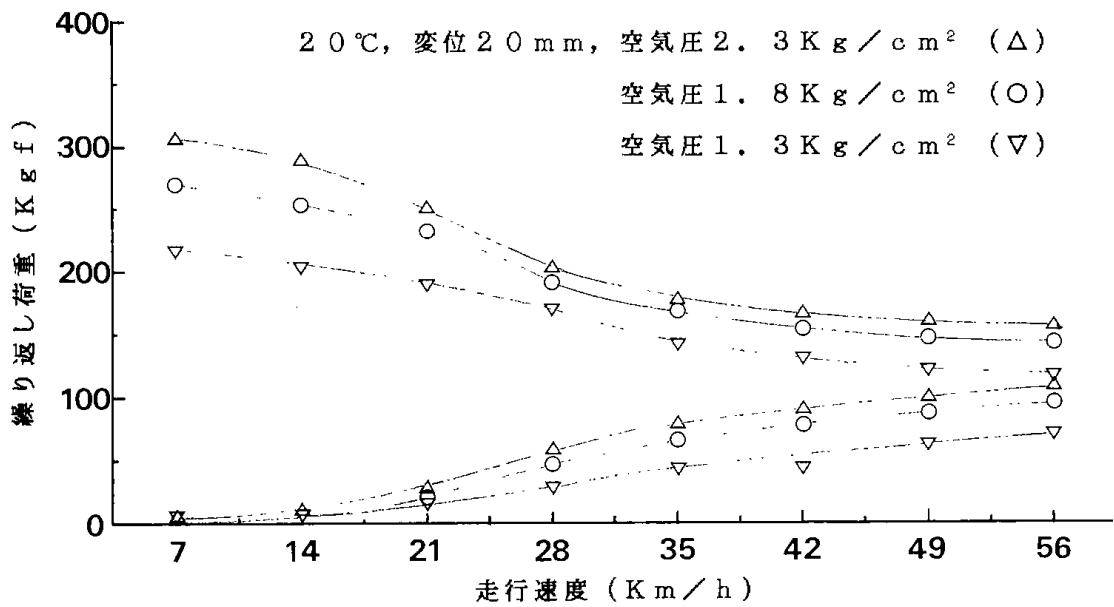
図V-23 空気圧によるタイヤAの走行速度と繰り返し荷重



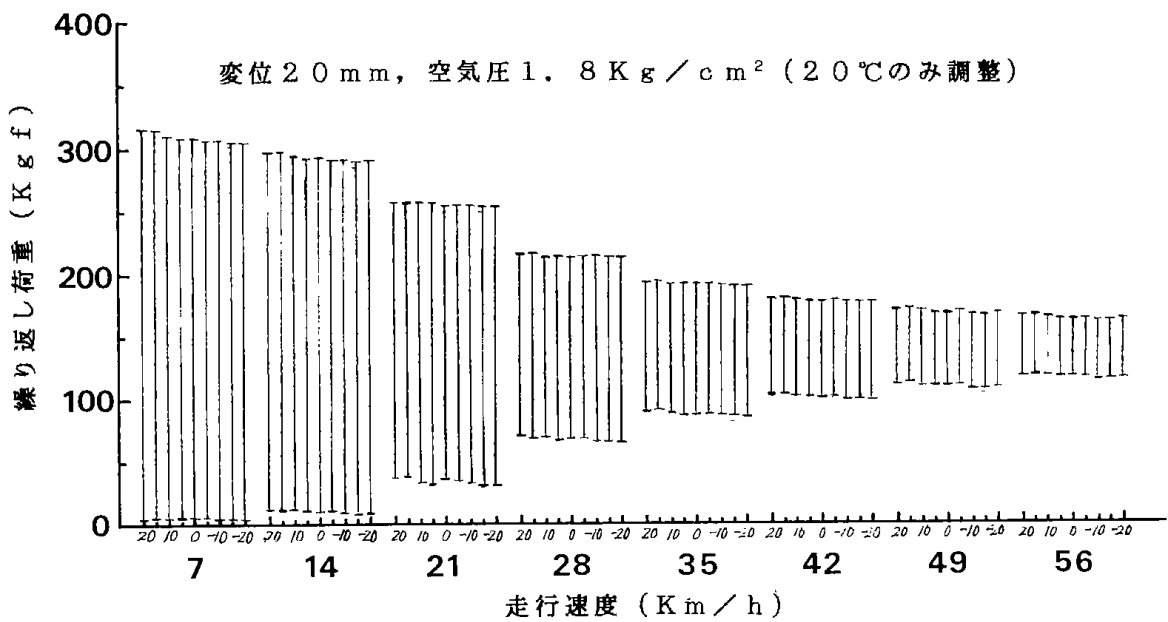
図V-24 空気圧によるタイヤBの走行温度と繰り返し荷重



図V-25 空気圧によるタイヤCの走行速度と繰り返し荷重



図V-26 空気圧によるタイヤDの走行速度と繰り返し荷重



図V-27 各温度によるタイヤBの走行速度と繰り返し荷重

ヤのほか、空気圧にかなり差のあるタイヤを使用した。実際に使用するタイヤには空気圧があまり高くても、また低くても自動車の運転性能、乗り心地、燃費タイヤ自体に悪影響を与える<sup>3,4)</sup>ので適正空気圧にする必要があると思われる。

図V-27には1例としてタイヤBについて、室温時(20°C)の空気圧(1.8kgf/cm<sup>2</sup>)のまま温度の変化による調整を行わず、走行速度を変えることによってゴム変形させた時の繰り返し荷重変動を

示した。

各温度毎に空気圧(1.8kgf/cm<sup>2</sup>)を調整して測定した結果についてはすでに図V-16~V-21に示したとおりである。

図V-27では温度の低下とともにわずかであるが20°Cの時に比べて低速度(7 km/h)で荷重変動幅が狭くなっている。すなわち、図V-17~22に見られた低速度時の荷重上限値の増加が見られなかったほか、高速度(56km/h)においても温

度による影響がほとんど見られない。

これは温度低下とともに、タイヤ内部の空気が収縮するため空気圧が減少し、タイヤ内壁の張りが弱まると共に、図V-15に示したように低温になるにつれてタイヤの硬度が多少高くなることによって荷重変動が相殺されたためと考えられる。

本実験ではタイヤに垂直な荷重が作用している場合を想定しているが、実際にタイヤが路面を輪荷重で転動している場合、タイヤ全周のトレッド表面の一部が絶えず路面を移動しながら接触するほか、タイヤ接地面には制動・駆動力、横力や各種抵抗力が複雑に作用している<sup>5,6)</sup>ので、本実験の条件に比べタイヤの変形挙動がかなり違うことが予想され、今後、実車走行試験との相関を明らかにすることが必要である。

#### V-4 結 言

市販の雪氷路用タイヤ4種を用いて、温度、負荷重、走行速度および空気圧の影響を調べるため、ゴム変形量と走行速度を変えた時のタイヤの繰り返し荷重を測定した結果、以下のことがわかった。

- 1) 市販の雪氷路用タイヤの圧縮特性として、タイヤの種類によって圧縮荷重、繰り返し荷重およびゴム変形量に大きな差異の認められるものがあつた。
- 2) 雪氷路用タイヤを低・中速走行した場合、走行速度によって繰り返し荷重が急激に低下する速度域があつた。また、低速度ほど繰り返し荷重上限値と荷重変動幅が大きく、高速度になるほど繰り返し荷重上限値は低速度より低く、下限値は高くなるが荷重変動幅は狭くなることがわかつた。
- 3) 雪氷路用タイヤの圧縮特性に及ぼす温度の影響は、低温度になるほど顕著となり、小さなゴム変形量で圧縮荷重および繰り返し荷重の増加するものがあつた。特に低温度で低速度の時の繰り返し荷重による上限値が著しく増

加した。また、一部のタイヤで低温度にするるとゴム硬度の増加が見られた。

- 4) 雪氷路用タイヤの圧縮特性に及ぼす空気圧の影響は、タイヤの空気圧が高くなるとゴム変形量が小さくなり、圧縮荷重が増加した。また、温度設定毎に一定空気圧にした場合と室温(20℃)の時のみ空気圧を調整した場合を比べると、低温度で低速度になるほど温度設定毎に空気圧を調整した方が繰り返し荷重は大きくなった。
- 5) タイヤの繰り返し荷重変動が安定する走行速度は各種タイヤとも約40km/h以上であつたので、室内試験機および実車走行実験を行う場合の目安にすることができた。

以上の結果、スノースパイクタイヤの開発を目指して、雪氷路用タイヤの制動・駆動力実験におけるタイヤ部分のゴム変形と荷重変動を検討する場合、振動型荷重試験機による模擬的なタイヤ試験は簡便な方法として適しており、低・中速走行で生じるタイヤのゴム変形と荷重変動に関する基礎的なデータを得ることができた。

#### 参考文献

- 1) 鈴木良和, 広木栄三, 窪田 大, 後藤藤太郎, 寒地技術シンポジウム'85 (1985年11月), 413
- 2) 鈴木, 広木, 窪田, 環境庁公害特別研究報告集, 昭和60年度 (昭和61年8月), 46-17
- 3) 五嶋教夫, 自動車技術, vol 32, No. 5 (1978) 417
- 4) 松田 明, 同 上, vol 32, No. 10 (1979) 860
- 5) 酒井秀男, 同 上, vol 35, No. 4 (1981) 419
- 6) 近藤政市, 基礎自動車工学, 養賢堂 (1984) 177



## 第VI章 雪氷路タイヤ用室内試験機の試作と性能特性

広木 栄三, 窪田 大, 鈴木 良和

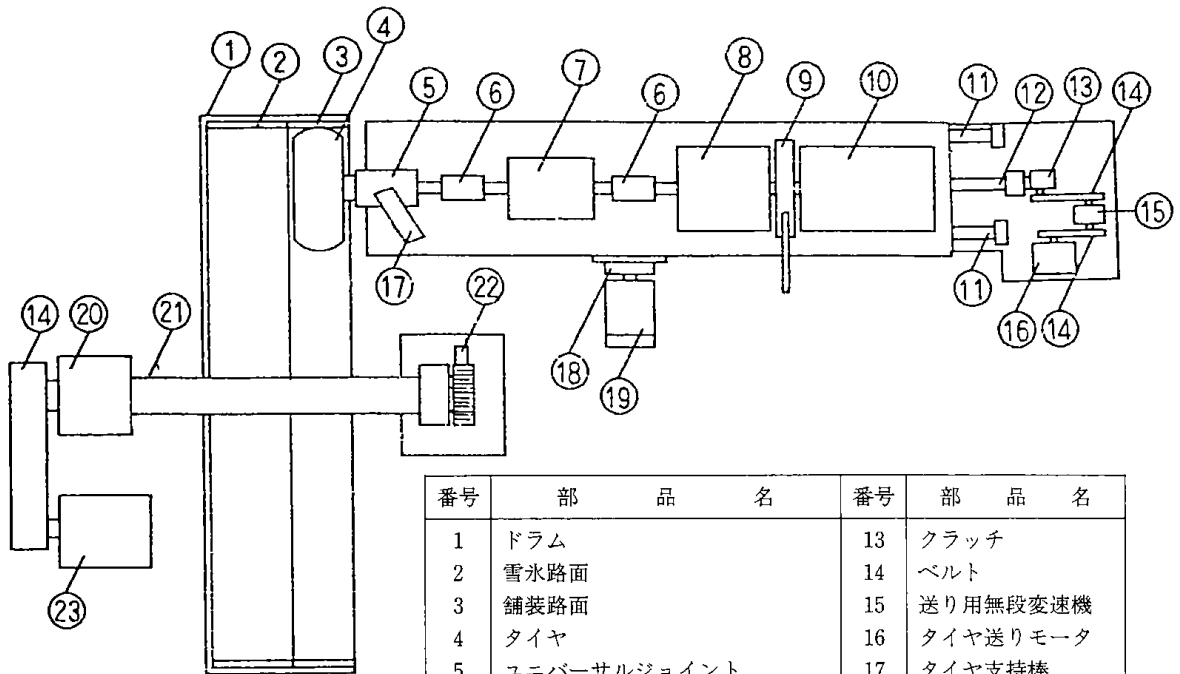
### VI-1 緒 言

雪氷路タイヤの制動・駆動力等の性能は、雪氷路面の状態によって大きく異なるため、スパイクタイヤおよびスタッドレスタイヤ等の性能比較試験を行う場合は、種々の路面状態で、同一条件を設定して試験する方法がよい。しかし、一般には

試験車を使い野外テストコースで行っている。

本室内試験装置は、温度及び路面状態の設定が容易であり、野外実験ではないので通年試験ができ、試験費用も安いなどのメリットがある。

一方、走行路面がドラム内面であるため、曲率走行面で道路のような平面ではない欠点はある

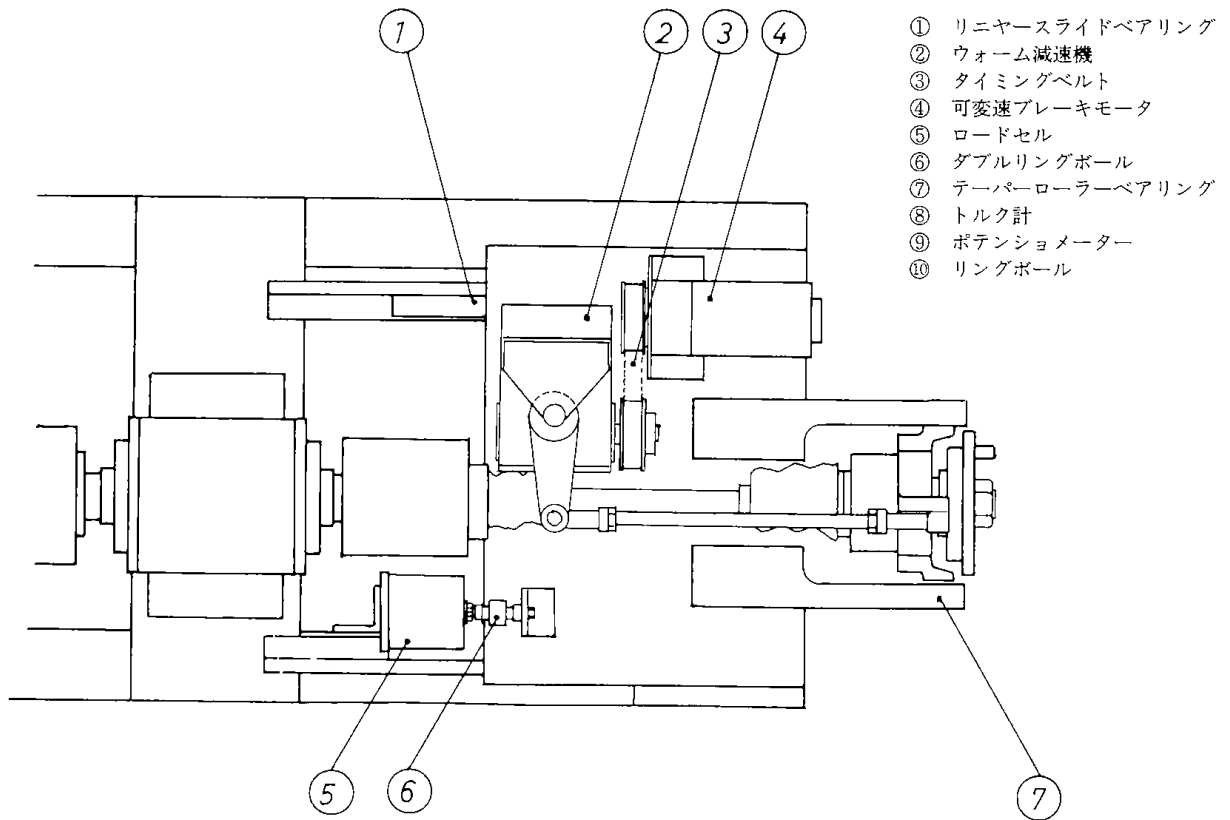


番号	部 品 名	番号	部 品 名
1	ドラム	13	クラッチ
2	雪氷路面	14	ベルト
3	舗装路面	15	送り用無段変速機
4	タイヤ	16	タイヤ送りモータ
5	ユニバーサルジョイント	17	タイヤ支持棒
6	カップリング	18	タイヤ接地荷重計
7	タイヤ主軸受	19	エアシリング
8	タイヤトルク計	20	ドラム主軸受
9	手動ブレーキ	21	ドラム主軸
10	制, 駆動モータ及びタイヤ回転計	22	ドラム回転計
11	タイヤ送り台	23	ドラム騒動用モータ
12	タイヤ送りネジ		

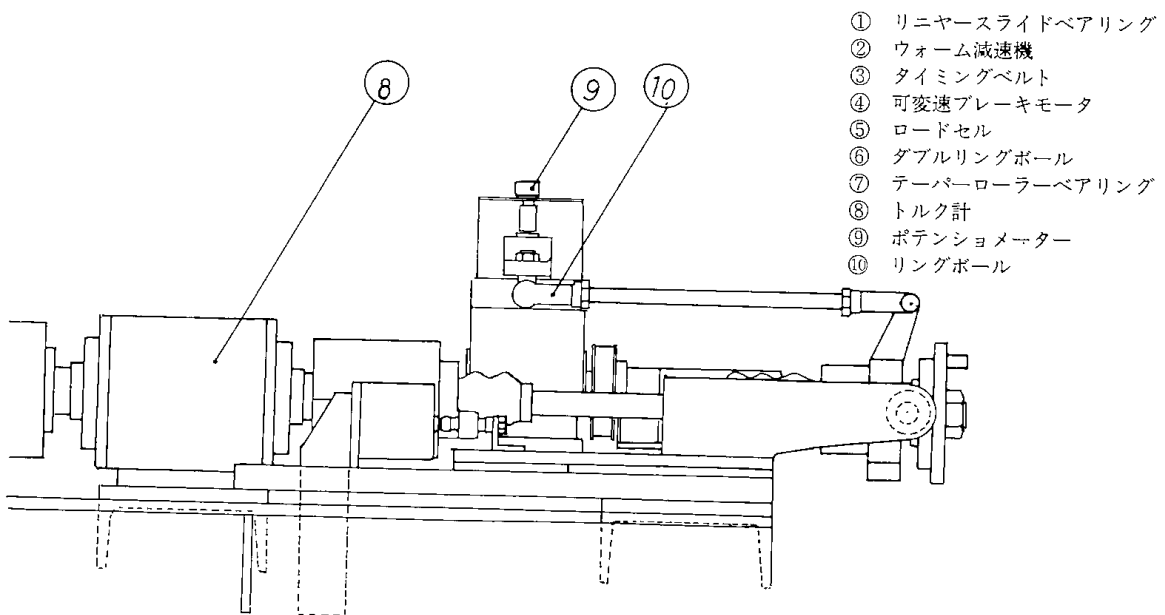
### 試験装置概要

名称 : インサイドドラム型2走行タイヤ試験機  
 ドラム部 : 直径3 (m), 氷盤状路面0.4 (m), 舗装路面0.3 (m)  
 タイヤ支持部: 最大捷地荷重500 (kg) (エアシリング)  
 横移動幅0.7 (m) までに認定可能  
 移動速度0.023 (m/sec) まで任意に設定可能  
 駆動部 : ドラム60 (km/h) まで任意に設定可能  
 タイヤ60 (km/h) まで任意に認定可能

図VI-1 インサイドドラム型2走行タイヤ試験機



図VI-2 供試タイヤ支持及びスリップ角装置(1)



図VI-3 供試タイヤ支持及びスリップ角装置(2)

が、タイヤの性能を比較する場合、評価に及ぼす試験機の諸特性について検討したので報告する。

## VI-2 実験方法

### VI-2-1 試験機の構造と仕様

試作タイヤ試験機は、図VI-1に示したタイヤ走行用ドラム装置部とタイヤ支持装置部および計測制御装置から構成され、プレハブ型の低温用恒温室内に設置されている。

#### VI-2-1-1 タイヤ走行用ドラム

直径3mのドラム内側の曲率面に、雪氷路面(走行面、幅40cm)と舗装路面(走行面幅、30cm)を設けた、二走行面型の回転ドラムで総重量は約4tある。

また、舗装路面を取りはずして、70cm幅の雪氷路走行面を設けることができる。

#### VI-2-1-2 供試タイヤ支持およびスリップ角装置

供試タイヤ支持およびスリップの角装置を図VI-2～3に示す。タイヤ支持台の上にはタイヤ、タイヤトルク計、タイヤ輪荷重計、制駆動用直流モーター、手動用ブレーキの各計測器とタイヤコーナリングフォース測定装置が設置されている。

タイヤにスリップ角をあたえることによって生じるコーナリングフォースおよびセルフアライニングトルク(略SAT)の測定装置はタイヤスリッ

プ角の作動用機械部および角度制御用計測部とコーナリングフォースおよびSATの検出用ロードセルによって構成されている。

本装置の動力伝達は、可変速モーターで作動させネジ式減速機をへて、タイヤロッドでタイヤにスリップ角をつける。

タイヤと路面により発生したコーナリングフォースおよびSATは、リニヤースライドベアリングレールにのっているコーナリングフォースおよびSATの装置台と、タイヤ支持台を連結している引張および圧縮用ロードセルで、タイヤコーナリングフォースを測定する構造になっている。

一方SATは、タイヤスリップ角をつけるタイヤロッドの片端に引張および圧縮用ロードセルを設置してある。

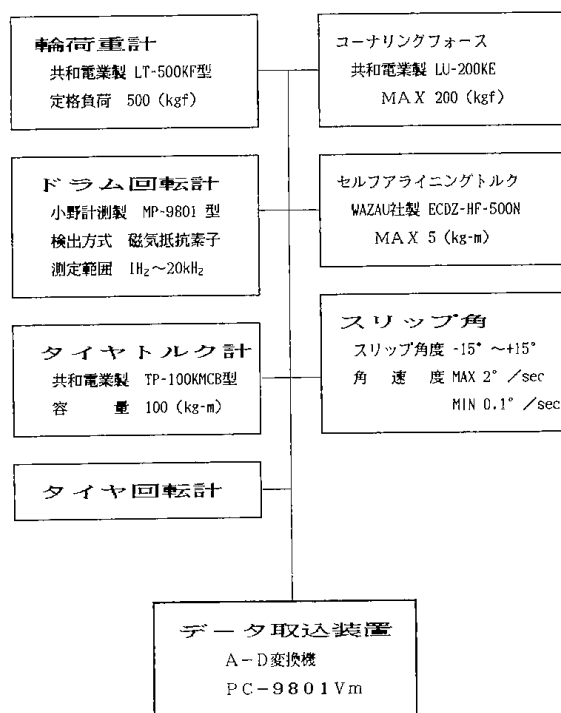
タイヤ接地面の中心とスリップ角回転軸中心が一致させるため、40mmオフセットのリムを使用する構造になっている。

スリップ角の検出はポテンションメータで行う。角度制御範囲は±15°まで設定できる。変角速度の設定範囲は最大2.0°/sec～最小0.1°/secで行うことができる。

### VI-2-2 計測機器の関連図と仕様

計測機器の仕様および関連図を図VI-4に示す。

タイヤ回転トルク計は、タイヤと手動ブレーキ、



図VI-4 計測機の関連図及び仕様

制駆動モーター間のタイヤ回転軸に設置し、制駆動時のタイヤに発生する回転トルク力を検出し、データ取込装置で計測する。

タイヤ回転数は、制駆動用モータが回転する時に出る回転パルスを検出しデータ取込装置で測定する。

ドラム回転速度は、ドラム回転軸に198歯数の歯車を設け小野測器製、MP-981回転検出器で検出し、データ取込装置で計測する。

### VI-2-3 氷盤路走行面の作製

インサイドドラムの走行面に小空がある鉄板のカバーを取付け、ドラム回転速度を10km/hで回転させながらドラム温度を-8℃以下まで冷却する。次にドラムを30~35km/hの回転速度で回転させながら、冷水を鉄板カバーとドラム走行面間に入れる。注入後ドラム回転速度を35km/hの一定速度で約8時間回転させ氷結させた。

ドラム内走行面に作製した厚さ約45mmの氷盤を、真円状氷盤走行面に作製するため、タイヤ固定支持台に取付けた切削バイトにより、平滑な真円状氷盤走行面を作製した。

## VI-3 実験結果と考察

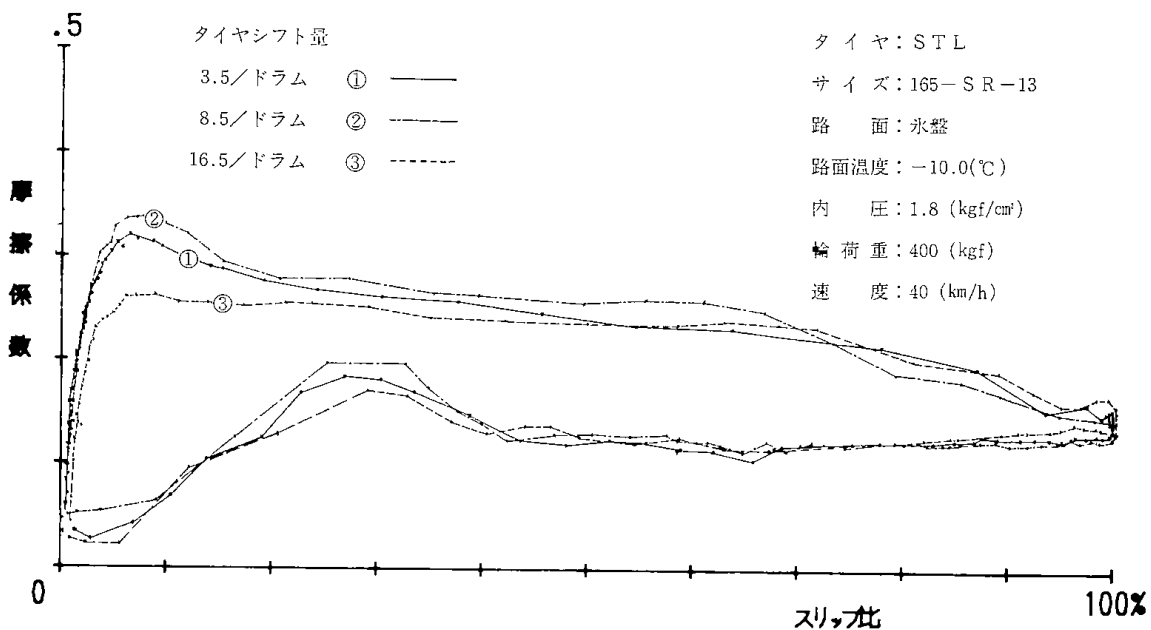
### VI-3-1 タイヤのシフト量差による $\mu$ -S特性

供試タイヤを氷盤路面で転動および制駆動を行うと熱が発生し氷盤路面とタイヤ間に水膜層ができ $\mu$ 値が低くなるが、直径3m、幅70cmのドラム

曲率氷盤路面上で、タイヤを常に新しい氷盤路走行面で40km/hの速度で転動および制駆動させることは困難である。したがって、タイヤの横シフト差によってタイヤの $\mu$ -S特性が、どのような試験機特性になるか実験した。氷盤路走行ドラムを40km/hの走行速度で回転させ、ドラム1回転毎に対するタイヤシフト量を3.5mm(3.5mm/ドラム)~16.5mm(16.5mm/ドラム)の範囲で、輪荷重および氷盤路面温度差による $\mu$ -S値の関係について検討した。

氷盤路面温度-10℃で輪荷重300kgf、速度40km/hでシフト量3.5mm、8.5mmおよび16.5mmでシフトさせながらスタッドレスタイヤ(STL)に徐々にブレーキをかけ、スリップ比が0%からタイヤロック状態までの $\mu$ -S値(略、 $\mu$ - $S_{\infty=0}$ )のグラフを図VI-5に示した。また、氷盤路面温度が-10℃および-3℃でのタイヤロック $\mu$ 値を表VI-1に示した。 $\mu$ - $S_{0-\infty}$ で3~15% Sの低S値範囲では、シフト量が一番大きい16.5mmだけが $\mu$ が低く、最も差が大きい7~8% Sで0.6~0.8 $\mu$ 低くなっている。また、約20%から100% S間では、シフト量による $\mu$ 値の差は少なく約0.02 $\mu$ の幅の範囲にあり、100% Sでは、シフト量が3.5mmおよび8.5mmでは両方とも0.16 $\mu$ となり同じ値であった。16.5mmシフト量では0.16 $\mu$ となり0.02 $\mu$ 逆に高くなった。

一方、 $\mu$ - $S_{\infty=0}$ のでは、シフト量による差はほと

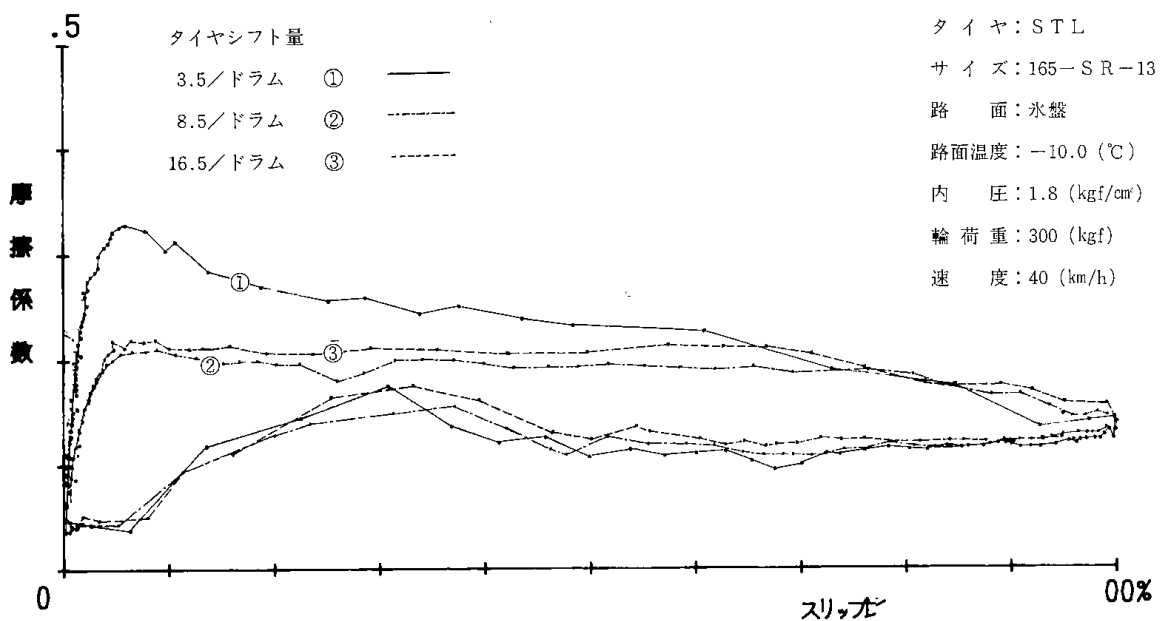


図VI-5 氷盤路面摩擦係数—スリップ比

表VI-1 タイヤロック時すべり摩擦係数

速度：40km/h  
路面状態：氷盤路面

氷盤路面温度 (°C)	タイヤシフト(mm)	250(kgf)	300(kgf)	400(kgf)
	ドラム回転(回)			
-3	3.4	0.09	0.11	0.11
	8.5	0.12	0.11	0.11
	16.5	0.12	0.12	0.11
-10	3.4	0.14	0.14	0.12
	8.5	0.14	0.14	0.13
	16.5	0.16	0.15	0.13



図VI-6 氷盤路面摩擦係数—スリップ比

んどないが、 $\mu-S_{0-100}$ と比べかなり低い $\mu$ となっている。

氷盤路面温度-10°Cで輪荷重300kgf, 速度40km/hの $\mu-S$ 値のグラフを図VI-6に示した。

$\mu-S_{0-100}$ では、シフト量の小さい3.5mmだけが特に低S側で大きい $\mu$ となっている。最大 $\mu$ 値も5~6%Sで3.25 $\mu$ で、シフト量が8.5mmおよび16.5mmと比べ約1.2 $\mu$ 高くなっている。また、70%Sになるとシフト量による $\mu$ 値の差はほとんどなくなり、100%S値でも0.14~0.15 $\mu$ の範囲であった。

$\mu-S_{80-0}$ では、80%Sまではほぼ同じ値である。80%から0%Sでは少し差がある程度である。

氷盤路面温度-10°Cで速度40km/hで輪荷重

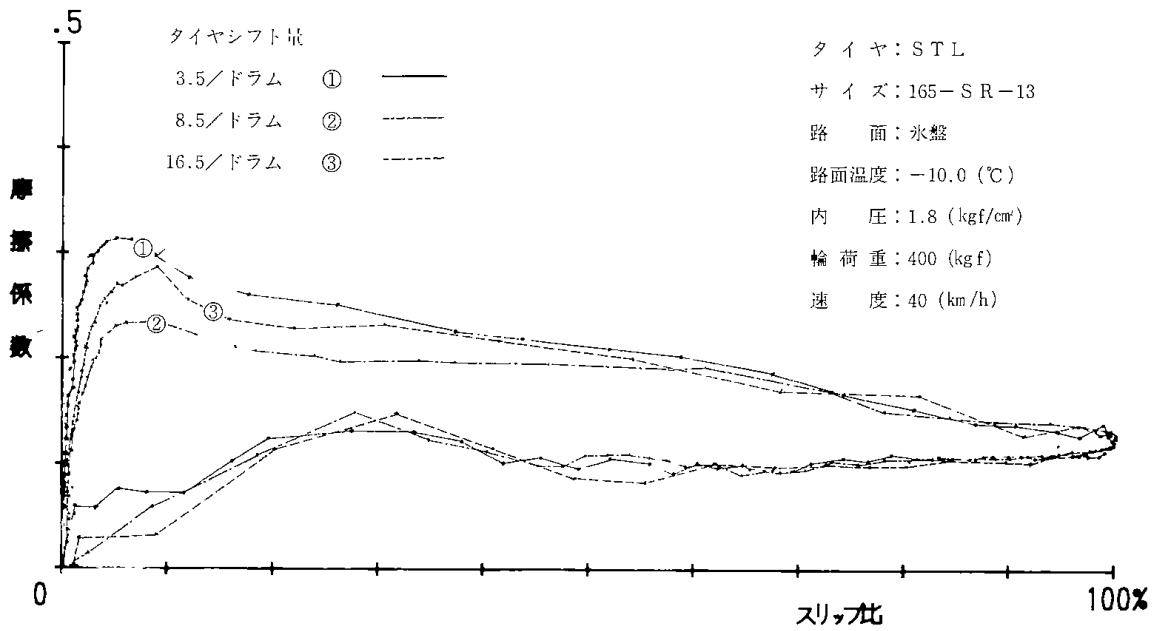
400kgfの $\mu-S$ 値のグラフを図VI-7に示した。

$\mu-S_{0-100}$ で3-15%Sの低S範囲では、シフト量が3.5mm>16.5mm>8.5mmの順に $\mu$ は低くなっている。約40%~100%S間では、シフト量による $\mu$ 値は少なく約0.1~0.15 $\mu$ 値の幅の範囲にあり、100%S値でも0.12~0.13 $\mu$ の範囲であった。

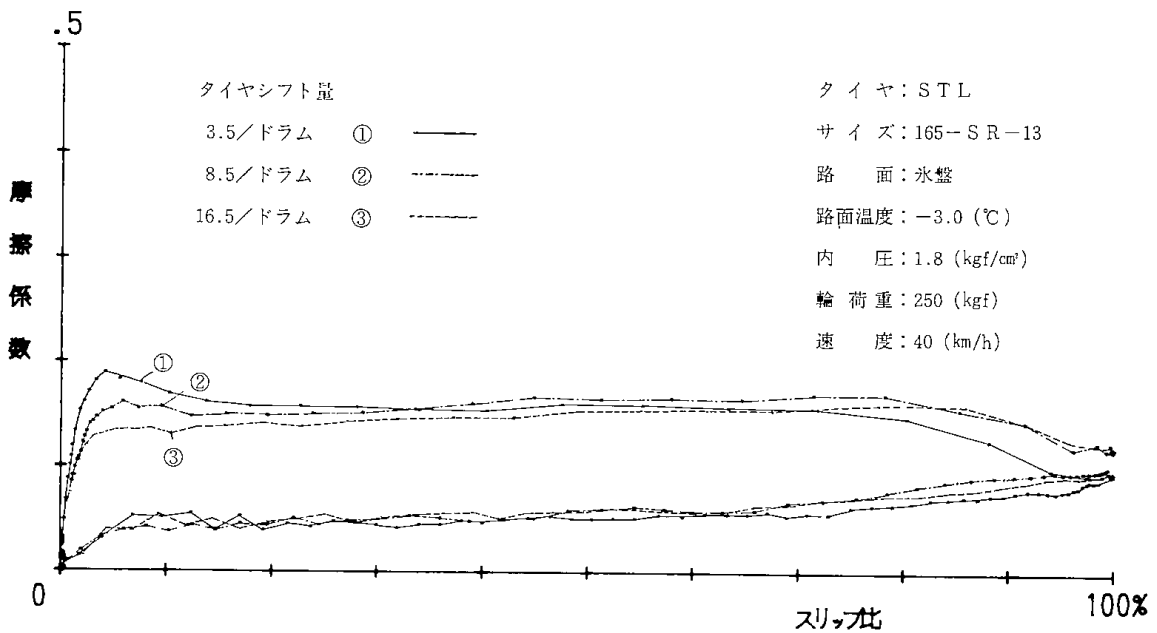
$\mu-S_{100-0}$ では、100%S~0%S間では、タイヤシフト量による $\mu$ 値の差はない。

氷盤路面温度-3°Cで速度40km/hで輪荷重250kgfの $\mu-S$ 値のグラフを図VI-8に示した。

$\mu-S_{0-100}$ で、15%Sの範囲ではシフト量が3.5mm>8.5mm>16.5mmの順に $\mu$ は低くなっている。約30%~100%S間では、シフト量による $\mu$ 値は少なく0.1~0.15 $\mu$ 値の幅の範囲にあり、100



図VI-7 氷盤路面摩擦係数—スリップ比



図VI-8 氷盤路面摩擦係数—スリップ比

%S値では、3.5mmシフト量で $0.099\mu$ 、8.5mmおよび16.5mmでは両方とも $0.12\mu$ であった。

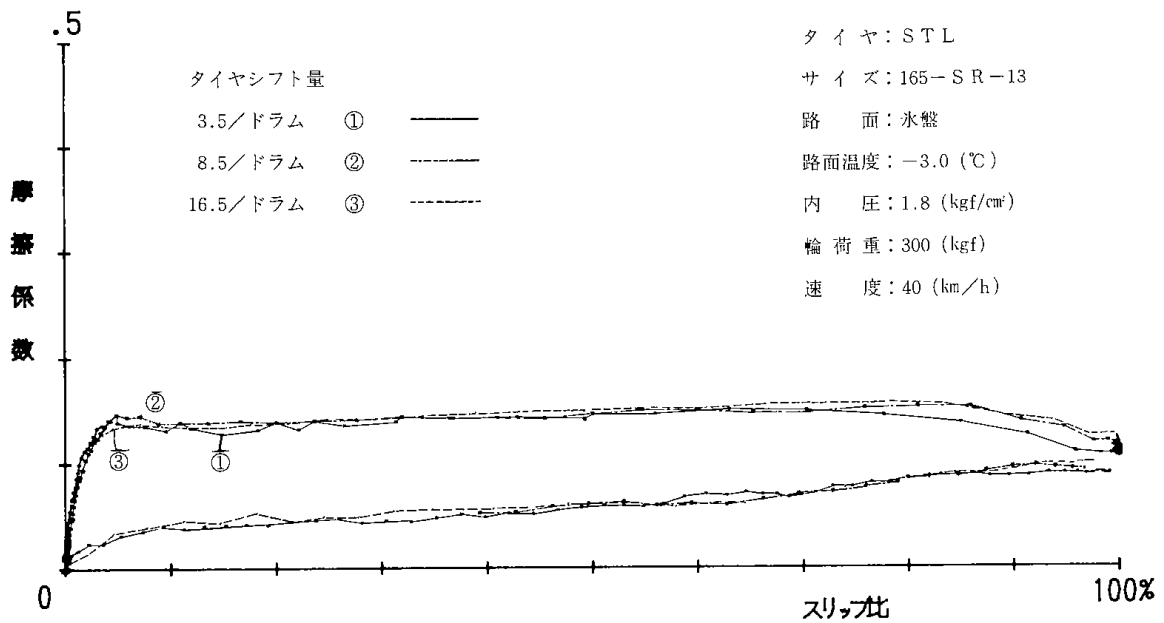
$\mu-S_{\infty-0}$ では、100% Sから70% S間で $0.01\sim 0.015\mu$ の範囲でシフト量による差がある。70%より低S値では、差はない。また、 $\mu-S_{0-\infty}$ と比べると大幅に $\mu$ 値が低い。

氷盤路面温度 $-3^{\circ}\text{C}$ で速度 $40\text{km/h}$ で輪荷重 $300\text{kgf}$ の $\mu-S$ 値のグラフを図VI-9に示した。

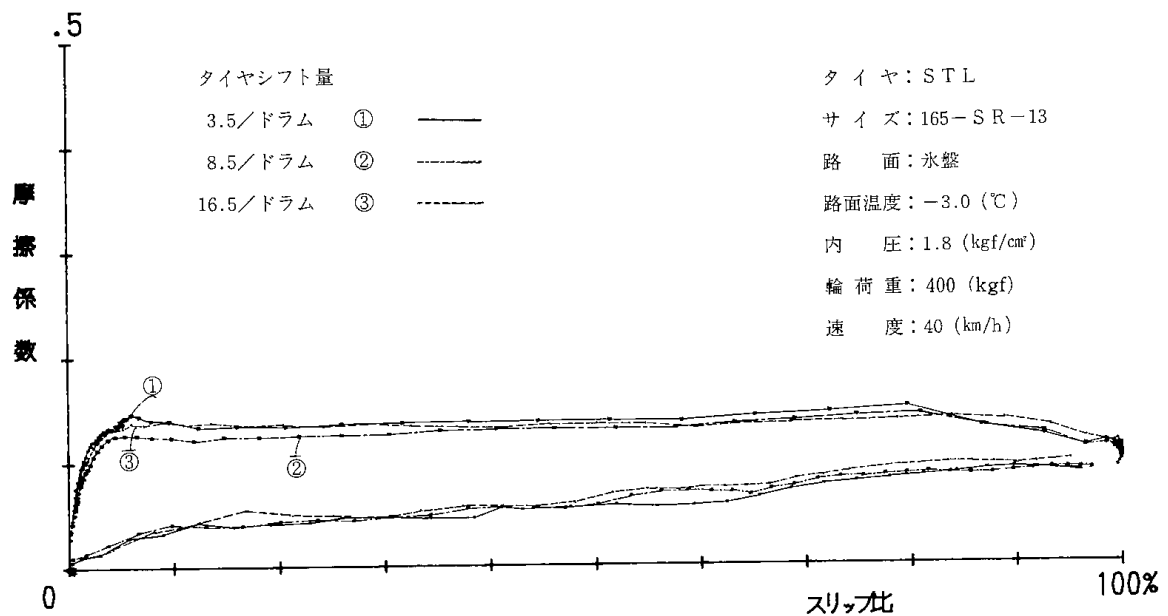
$\mu-S_{0-\infty}$ および $\mu-S_{\infty-0}$ のいずれでも、シフト量による $\mu$ 値に差がほとんどない。また、100% Sの $\mu$ でも $0.1\sim 0.12\mu$ の範囲であった。

氷盤路面温度 $-3^{\circ}\text{C}$ で速度 $40\text{km/h}$ で輪荷重 $400\text{kgf}$ の $\mu-S$ 値のグラフを図VI-10に示した。

$\mu-S_{0-\infty}$ では、シフト量が8.5mmだけが0~35% Sの低S値で $0.01\sim 0.015\mu$ 低くなっている。40~100% Sおよび $\mu-S_{\infty-0}$ ではシフト量による



図VI-9 氷盤路面摩擦係数—スリップ比



図VI-10 氷盤路面摩擦係数—スリップ比

$\mu$  値はほぼ同じである。100% S の  $\mu$  では 0.11 $\mu$  となり同じ値となった。

### VI-3-2 供試タイヤのシフト量及びスリップ角速度差によるコーナリングフォース

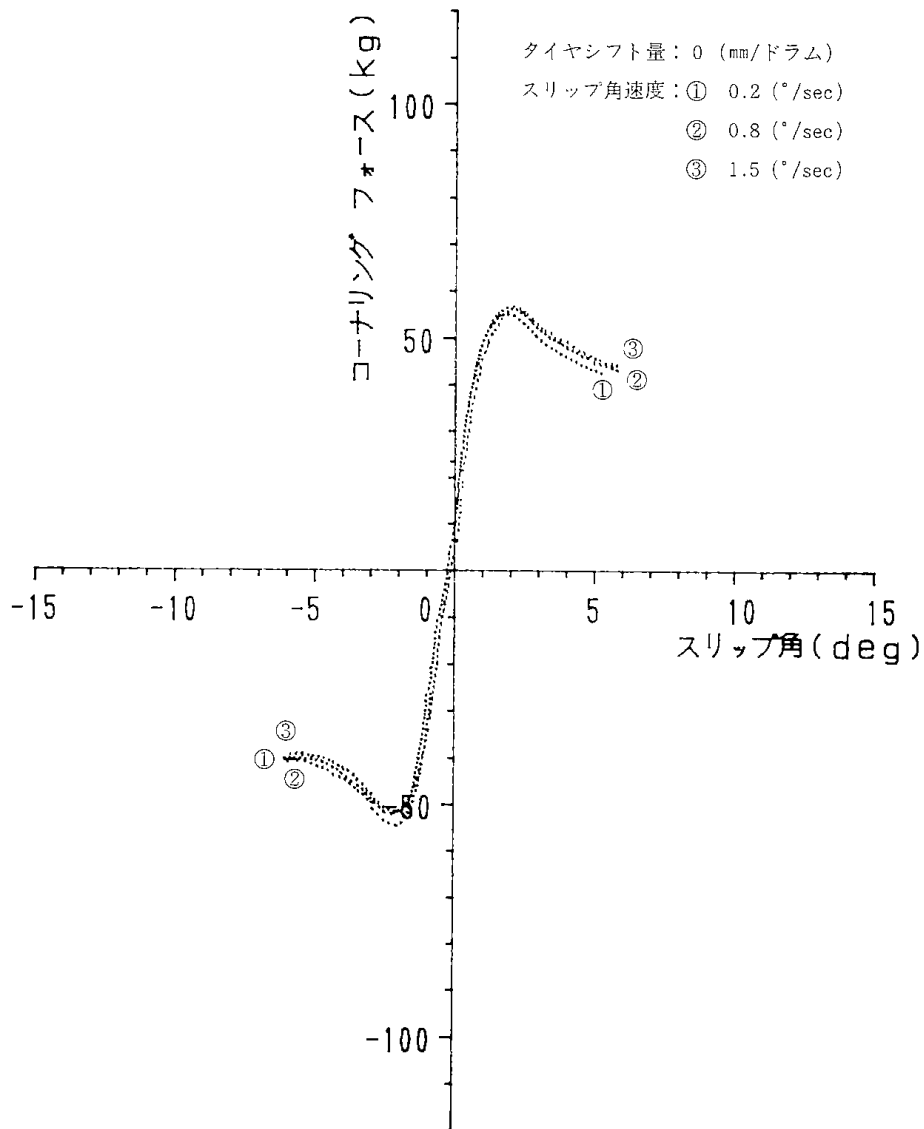
供試タイヤを氷盤路面で速度40km/hで転動させて、タイヤの横シフトを一方向に設定速度でシフトさせながら、タイヤスリップ角を0～-6°まで2.0°/secの変角速度で一気に変えてから、-

6.0°～+6.0°のスリップ角範囲を設定条件として測定した。

供試タイヤを横シフトさせないときのコーナリングフォース (略 Cf) —スリップ角 (略 Sd) グラフを図VI-11に示す。0.2°/secの変角速度では、0.8°/sec及び1.5°/secと比較して全体的に Cf は低くなっている。-1.0°～+1.0°の Sd 範囲では、Sd を+側に約0.15～0.20°シフトさせると0.8°/

ファイル名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C 氷盤路



図VI-11 コーナリングフォーススリップ角

sec 及び 1.5°/sec の Cf-Sd 曲線とはほぼ重なることにより、氷盤路面の  $\mu$  値の影響がでなくスリップ角速度差によるずれと考えることができる。また、Sd が -1.2° から -6.0° 方向及び +1.2° から +6.0° 方向に大きくなると Cf は 0.8°/sec 及び 1.5°/sec と比較すると少しずつ大きくなる傾向がある。最大 Cf 値では +2.08° で 54.9kgf 及び -2.04° で、52.3kgf で、1.5°/sec と比較して 1.5~2.0kgf 低い値を示した。

0.8°/sec の変角速度の Cf-Sd グラフを一側方向に約 1.5 シフトさせて 0.2°/sec と比較する

と、Cf は -6 ~ -1.5° では少し低い値である。また、最大 Cf 値は -2.02° で、52.5kgf でほぼ同じ値である。Sd が +1.5° ~ +6.0° スリップ角範囲では少し高く、最大 Cf 値でも 56.2kgf で約 1.2kgf 高い値となった。

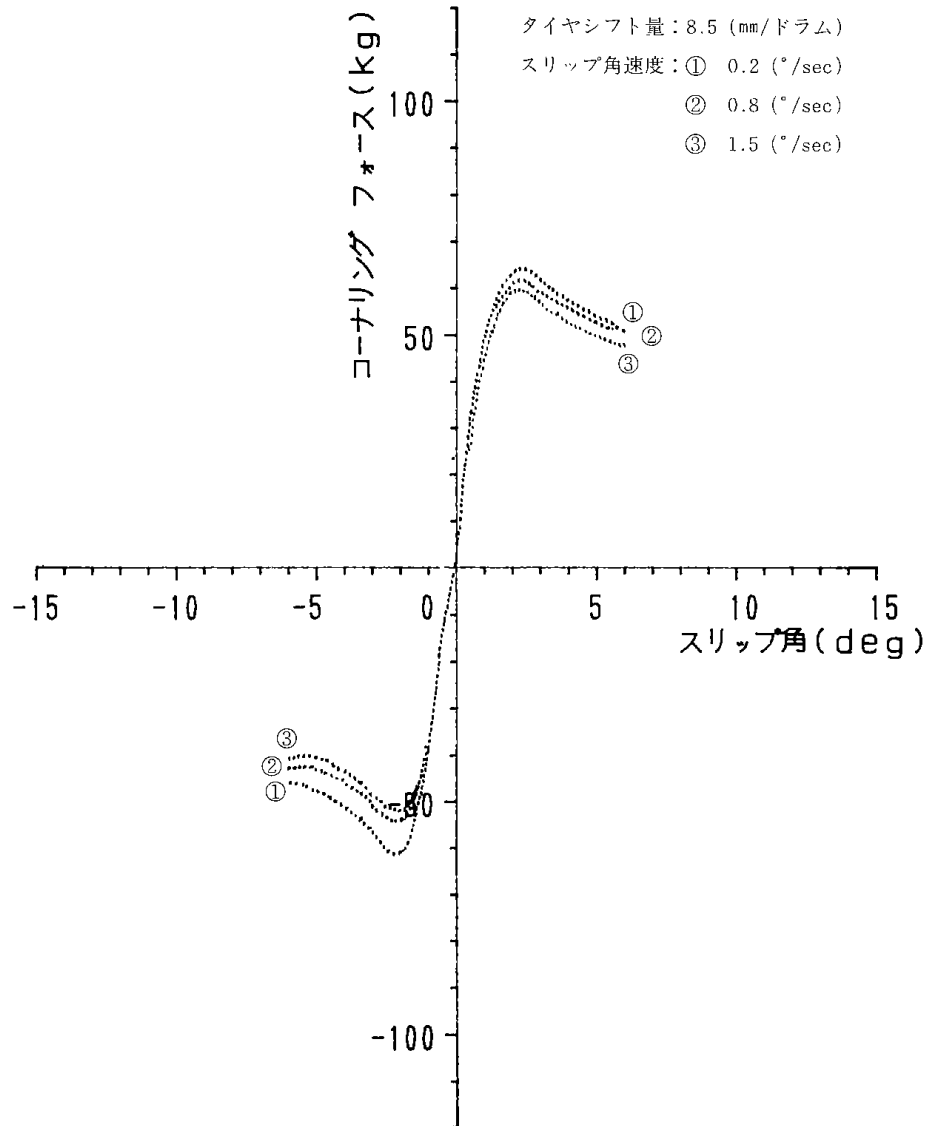
1.5°/sec の変角速度では、0.2°/sec 及び 0.8°/sec との Cf-Sd 値を比較して Cf 値は高い。

供試タイヤシフト量 8.5mm/ドラムの Cf-Sd グラフを図 VI-12 に示す。-1.0° ~ +1.0° の Sd では 0.2° ~ 1.5°/sec での変角速度差による Cf に差



車種名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C 氷盤路



図VI-12 コーナリングフォース—スリップ角

はほとんどないが、 $-1.0^{\circ} \sim -6.0^{\circ}$ 方向及び $+1.0^{\circ} \sim +6.0^{\circ}$ 方向にSdが大きくなると $0.2^{\circ}/\text{sec} > 0.8^{\circ}/\text{sec} > 1.5^{\circ}/\text{sec}$ の順でCfは高い値を示した。最大値は $0.2^{\circ}/\text{sec}$ で $-2.26^{\circ}$ 、 $-61.2\text{kgf}$ 及び $+2.32^{\circ}$ 、 $+61.1\text{kgf}$ であった。 $0.8^{\circ}/\text{sec}$ では $-2.12^{\circ}$ 、 $-54.1\text{kgf}$ 及び $+2.36^{\circ}$ 、 $+61.9\text{kgf}$ であった。 $1.5^{\circ}/\text{sec}$ では $-2.02^{\circ}$ 、 $-52.0\text{kgf}$ 及び $+2.22^{\circ}$ 、 $+59.4\text{kgf}$ で最大Cf値も $0.2^{\circ}/\text{sec} > 0.8^{\circ}/\text{sec} > 1.5^{\circ}/\text{sec}$ の順に高い。

供試タイヤシフト量 $16.5\text{mm}/\text{ドラム}$ のCf—Sdグラフを図VI-13に示す。

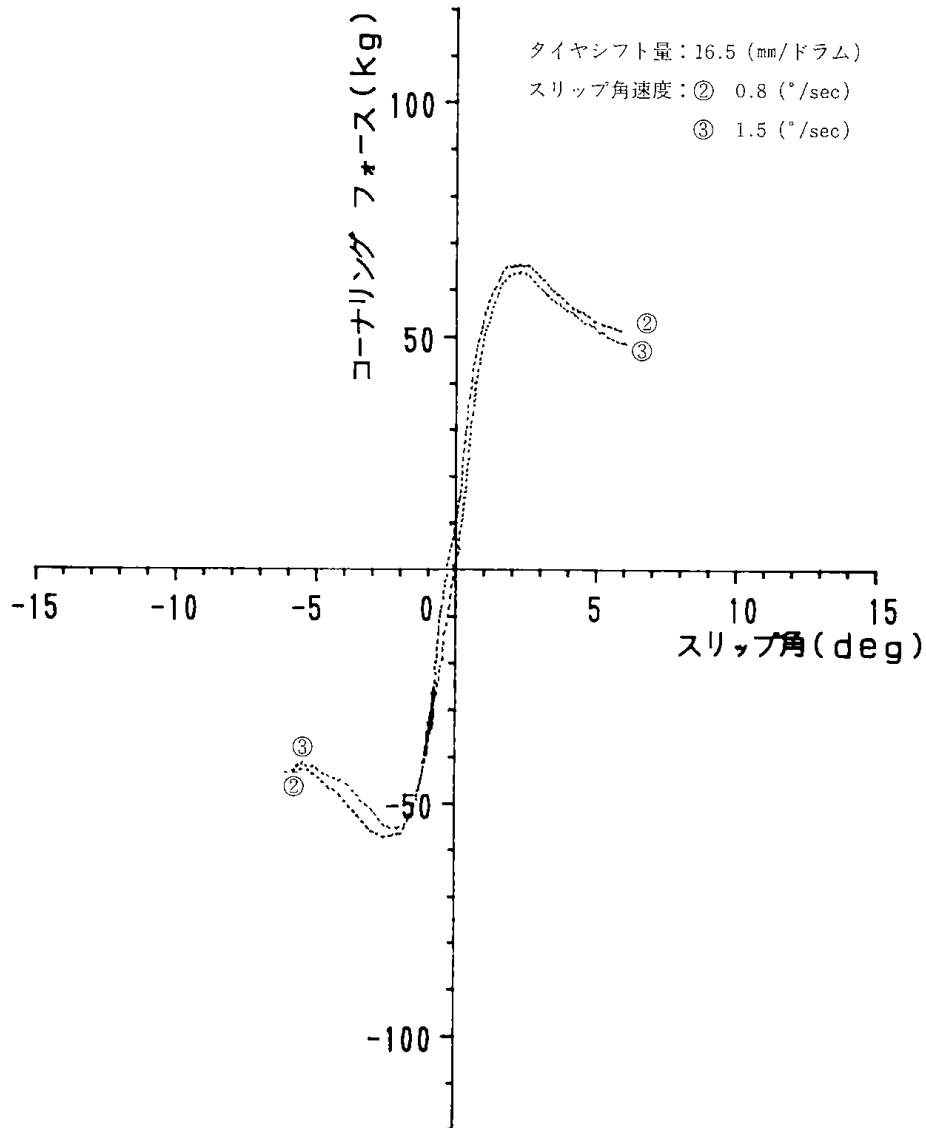
変角速度差によるCfは、一方向でシフトさせながら $0^{\circ} \rightarrow -6.0^{\circ} \rightarrow +6.0^{\circ}$ の順で測定するため、 $0.2^{\circ}/\text{sec}$ の変角速度では氷盤路面幅が狭いため測定できず、 $0.8^{\circ}/\text{sec}$ 及び $1.5^{\circ}/\text{sec}$ のみ測定した。

$0.8^{\circ}/\text{sec}$ のCfは、 $-1.0^{\circ} \sim +1.0^{\circ}$ 範囲では $1.5^{\circ}/\text{sec}$ とほぼ同じであった。

$-1.0^{\circ} \sim -6.0^{\circ}$ 及び $+1.0^{\circ} \sim +6.0^{\circ}$ 範囲では、 $1.5^{\circ}/\text{sec}$ より高い値を示した。最大も $0.8^{\circ}/\text{sec}$ では $-2.32^{\circ}$ 、 $-58.0\text{kgf}$ 及び $+2.36^{\circ}$ 、 $+65.3\text{kgf}$ で、 $1.5^{\circ}/\text{sec}$ の $-2.02^{\circ}$ 、 $-56.3\text{kgf}$ 及び $+2.32^{\circ}$

ファイル名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm\*\*2)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C 氷盤路



図VI-13 コーナリングフォーススリップ角

, +63.6kgfと比較して約1.7kgf高い値となった。

Sdの変角速度0.2°/secで、供試タイヤのシフト量、0、8.5mm/ドラムでのCf-Sdグラフを図VI-14に示す。

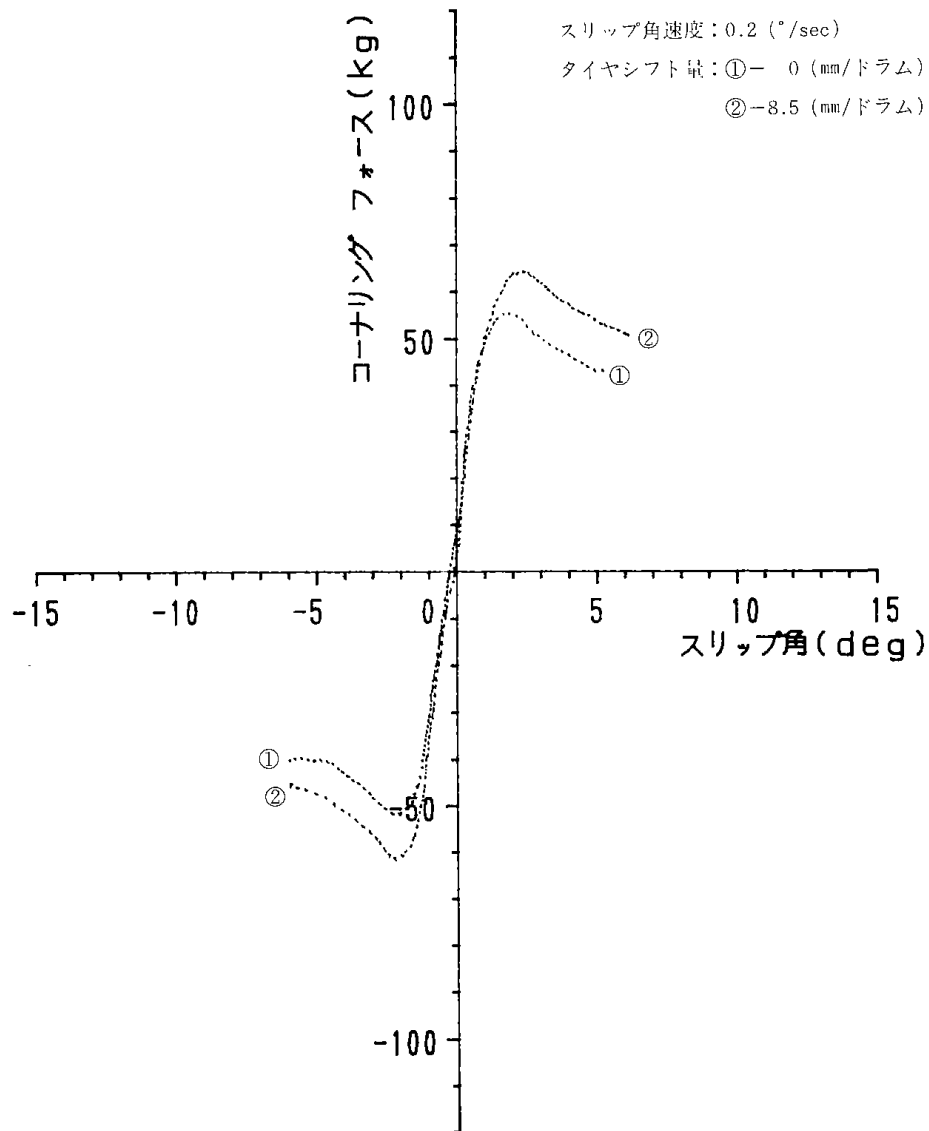
シフト量が0値でのCfは、シフト量8.5mm/ドラムと比較して最も低い、最大Cf値では-2.04°, -52.3kgf及び+2.08°, +54.9kgfで、8.5mm/ドラムシフト量の最大Cf値、-2.26°, -61.2kgf及び+2.32°, +64kgfと比較して約9kgf低い値となった。

Sdの変角速度0.8°/secのシフト量に対するCf-Sdグラフを図VI-15に示す。

シフト量が0値でのCfは、8.5mm/ドラムシフト量と比べると、0°から-3°付近まではほぼ同じ値で-3°から少しずつ低くなり、-6.0°では約2kgf低くなるが、一側のSdでの最大Cfは、両方とも-2.1°で51kgfで同じ値であった。一方+側のSdでは、CfはSdが+1.0°付近から低くなっていき+6.0°で7.8kgf低く、最大Cf値でも+2.16°, +56.2kgfで8.5mm/secでの2.36°, +61.9kgfと比べ5.7kgf低い。

ファイル名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C 氷盤路



図VI-14 コーナリングフォース—スリップ角

シフト量が16.5mm/ドラムでは、8.5mm/ドラムと比較すると最大Cfの附近で高く、最大Cfは-2.32°, -58.0kgf 及び+2.36°, +65.3kgfで約3~4 kgf高い。しかし、-6.0°及び+6.0°附近では差がなくなる。

Sdの変角速度1.5°/secでのシフト量に対するCf—Sdグラフを図VI-16に示す。

シフト量、0 mm/ドラム、及び8.5mm/ドラムと16.5mm/ドラムに対するCf—Sdグラフは0.8°/sec変角速度とほぼ同じ傾向であった。

#### VI-4 結 言

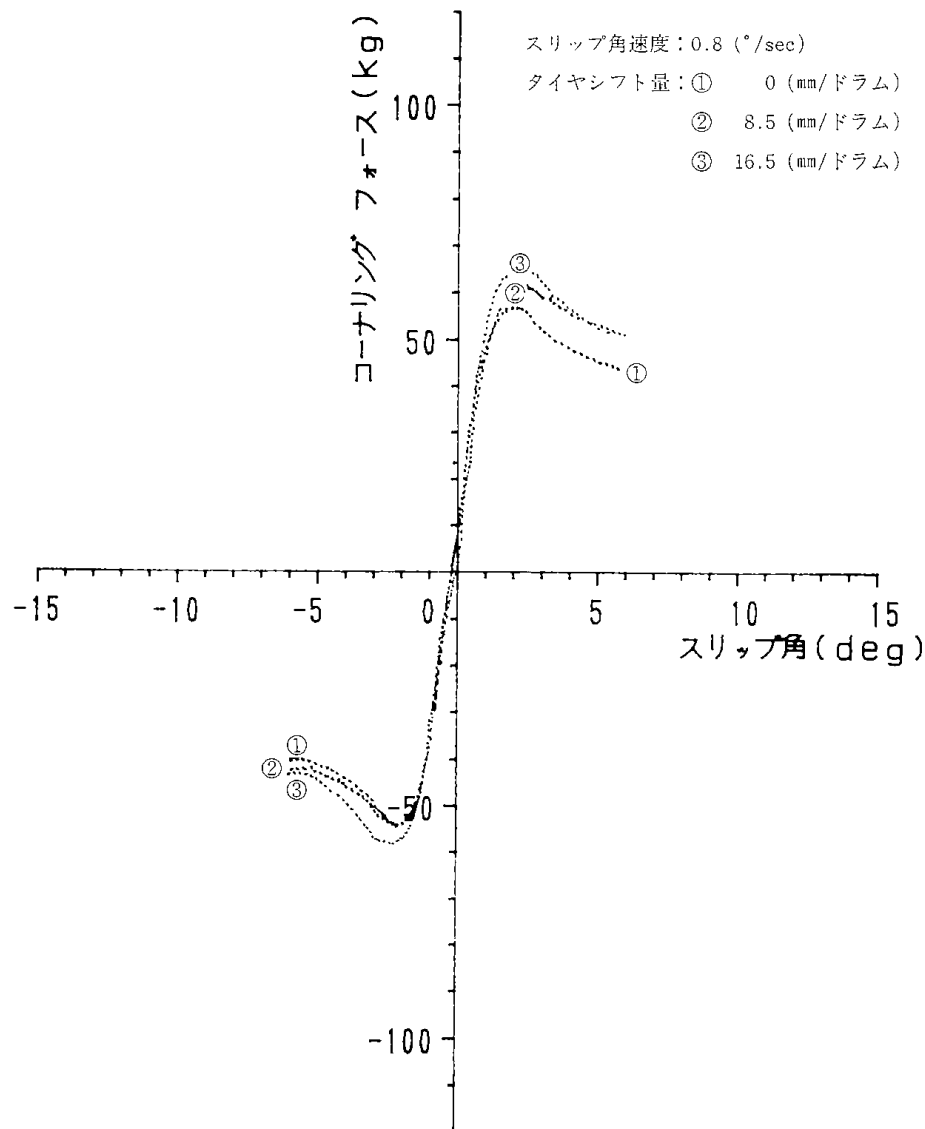
以上の結果、本タイヤ試験機でタイヤのシフト差による $\mu$ -S値およびコーナリングフォース—スリップ角を測定すると次のような試験機特性がある。

1) 氷盤路面温度-10°Cで測定した場合の $\mu$ -S値

- (a) タイヤシフト量差による $\mu$ -S値は、 $\mu$ - $S_{0-\infty}$ で0~20%までの低Sの範囲で特に $\mu$ に大きな差が生じるが、50~100%Sでは $\mu$ の差は少なくなり100%Sでは

ファイル名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm\*\*2)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C氷盤路

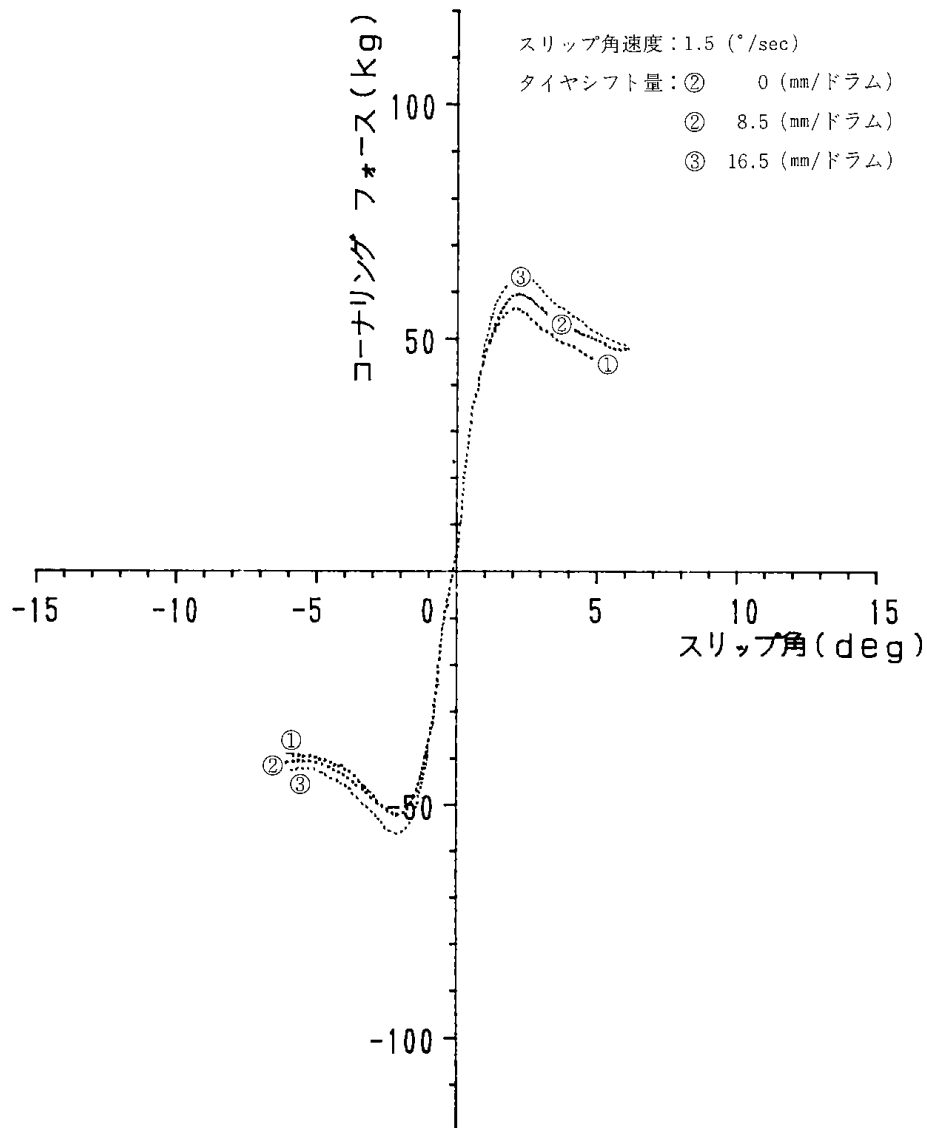


図VI-15 コーナリングフォーススリップ角

- 0.01~0.02 $\mu$  の差でシフト量差による影響は少ない。
- (b) タイヤシフト量差で $\mu$ -S値が異なる $\mu$ - $S_{0-\infty}$ の0~20% S範囲では、シフト量が3.5mmと小さい方が高 $\mu$ 値となり、輪荷重250~400kgf差による $\mu$ 値の差も少ない。一方、シフト量が8.5mm, 16.5mmと大きくなると $\mu$ 値に差ができる。
- (c)  $\mu$ - $S_{\infty-0}$ では、シフト量による $\mu$ 値の差は少なく、バラツキも少ない。また、 $\mu$ - $S_{0-\infty}$ と比較すると、全体的に大幅な低 $\mu$ となっている。
- 2) 氷盤路面温度-3°Cで測定した場合の $\mu$ -S値タイヤシフト量差による $\mu$ -S値は、輪荷重250kgおよび400kgfの場合にだけ $\mu$ - $S_{0-\infty}$ の0~15% S範囲で $\mu$ に差がある。また、輪荷重300kgfでは、タイヤシフト量差による $\mu$ -S値で、 $\mu$ - $S_{\infty-0}$ および $\mu$ - $S_{0-0}$ の両方ともシフト量による $\mu$ 量は、ほぼ同じ値となり影響は少ない。
- 3) 供試タイヤを-3°C氷盤路面上でシフト量を一定にしてスリップ角変角速度を変えてコー

ファイル名 : 1STL-  
 タイヤコード :  
 タイヤサイズ : 165-13  
 タイヤリム : 4.5J-13

荷重 : 300 (kg)  
 内圧 : 1.8 (kg/cm\*\*2)  
 速度 : 40 (km/h)  
 路面 : -3°C氷温



図VI-16 コーナリングフォーススリップ角

ナリングフォーススリップ角の関係を測定した場合、スリップ角変角速度が0.8/secおよび1.5/secと大きい時は、コーナリングフォースの差は少ないが、0.2/secと小さい時はタイヤシフト量8.5mm/ドラム時にコーナリングフォースが大きい値になる傾向がある。

しかし、シフト量が一定のものどうしで、スリップ角変角速度差によるコーナリングフォース値は、全体的に差は少ない。

4) 供試タイヤを-3°C氷盤路面上でスリップ角

変角速度を一定にしてシフト量を変えてコーナリングフォーススリップ角の関係を測定した場合、シフト量が大きいほどコーナリングフォースは大きい値となる。

また、シフト量が0 mm/ドラムの場合、特にコーナリングフォース値は低くなる。

5) スリップ角が-1.0°~+1.0°の範囲では、供試タイヤのシフト量及びスリップ角の変角速度による影響は少ない。

## 第VII章 低公害試作タイヤの走行試験による評価

広木 栄三, 鈴木 良和, 窪田 大

### VII-1 緒 言

スパイクタイヤによる粉塵公害が社会問題となり、その防止対策について検討されてから数年が経過した<sup>1,2)</sup>。にもかかわらず、まだその十分な対策がとれず解決には至っていない。その理由として、技術的な問題ばかりでなく、人間工学を含めた種々の分野の問題がからむため、社会生活になじんだ解決法が取られるまでにはまだしばらくの時間を必要としているように思われる<sup>3)</sup>。その間、少しでも低公害が図れる技術を開発することは、地域のニーズに応える重要な役割であると同時に、車粉防止を技術的に促進させる可能性を開くことに繋がる。

本研究は、最終年度としてこれまでの基礎的研究成果<sup>1,4,5)</sup>をふまえて、当所で低公害用として発案、開発したスパイクタイヤを試作し、その性能について評価したものである。これらの結果につ

いて報告する。

### VII-2 実験方法

#### VII-2-1 試験用スパイクタイヤ

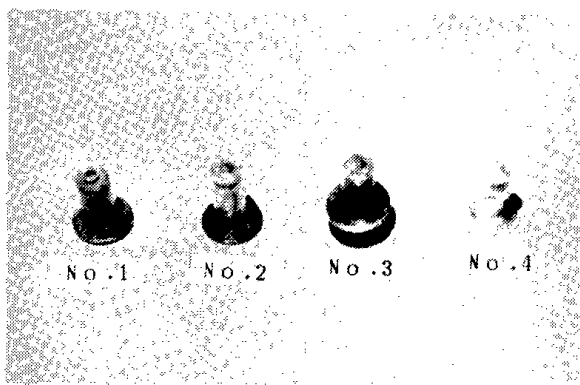
##### (1) スパイクピンの作製

写真VII-1及び表VII-1に、試作したスパイクピン No.1～3の形と性状をそれぞれ示す。スパイクピンの本体部の材質は鋼材を用いて作製した。

スパイクピン No.1では前章で示した実験結果に基づき、平均的且つ再現性の良い製造法を採用し、鉄に $\alpha$ -アルミナ(150~200mesh)を10wt%分散させたものを約1500°Cで溶結し、径3mm/m、長さ6mm/mのピン先端用チップを準備した。これを浸炭後スパイクピン本体上部に取り付け、850°Cに加熱してから水中へ焼入れ処理を行った。

スパイクピン No.2の先端に径2.1mmドリル刃で深さ8mm穴をあけた後、850°Cで30分加熱し水中に入れ焼入れ処理を行った。硬すぎたので先端部分を加熱し焼なまし処理をして、この穴にテーパ型超硬チップ、最小径2.1mm、最大径2.4mm、長さ5.0mm(市販スパイクピン使用と同等品)を打ち込んでカシメ型スパイクピンを作成した。

スパイクピン No.3の形状記憶合金を使用したスパイクピン本体は、No.2と同じ方法で作成した。形状記憶合金作動材は、古河電工(株)製ニッケル-チタン系形状記憶合金の直径2.5mm線



写真VII-1 試験スパイクピン

表VII-1 試験タイヤの性状

タイヤ	スパイクピン 本数 (本)	フランジ径 (mm)	シャンク径 (mm)	重 量 (g)	突出寸法 (mm)
スパイクタイヤNo.1	74	12	7.0	4.06	1.36
スパイクタイヤNo.2	74	12	6.2	4.47	1.28
スパイクタイヤNo.3	74	12	6.2	4.93	1.03
スパイクタイヤNo.4	74	8	5.8	3.32	1.19

材を用いた。この線材を電気炉内で450°Cに加熱しながら、外径6.5mmの巻き上げジグに巻き上げ外径12mmの密着コイルバネを作製した。これを1巻バネに切り取り治具で固定してグラインダーで平板状のリングに成型加工した。この形状記憶処理は、治具でピッチを2.5mmに固定し、520°Cの温度で30分間の熱処理後、水中焼入で形状記憶処理を行った。

スパイクピン No. 4 は、A社製の昭和62年度第2次規制バイヤススパイクタイヤ5.60-13-6 PR 低公害型スパイクピンである。

#### (2) スパイクタイヤの作製

昭和62年度規制以前のA社バイヤススパイクタイヤ5.60-13-6 PR からスパイクピンを抜き取りしたタイヤに、前節で述べた方法で作製したスパイクピン No. 1~3 をいずれも74本ずつ埋め込み、スパイクタイヤ No. 1~3 を作製した。

スパイクタイヤ No. 1 (略 SPT-1) は、スパイクピン No. 1 をそのまま埋め込んだ。

スパイクタイヤ No. 2 (略 SPT-2) は、既存スパイクピン穴底部に直径15mm程度の円形の切込みを入れ、スパイクピン突出力を弱め、0°C付近の比較的軟質氷ではささり、舗装路面では、ピン突出寸法、突出力が小さくなり舗装路面を損傷を少なくする構造にしてスパイクピン No. 2 を埋

め込んだ。

更にトレッドにサイビング (切込み) を入れた。このサイビングによって、氷盤状路面では、ゴムのエッジ効果による摩擦力を向上し、制動・駆動時には、タイヤに大きな力が働き、トレッドゴムの変形を容易にするのでスパイクピン突出寸法を大きくする効果が期待できる。

スパイクタイヤ No. 3 (略 SPT-3) は、スパイクタイヤ No. 2 と同じタイヤに、既存スパイクピン穴底部に直径10mm、深さ4mm円筒形の穴と、穴底に直径15mmの内形の切込みを入れてスパイクピン穴を作成し、スパイクピン本体のフランジ上部に形状記憶合金作動材を取り付けて埋め込んだ。さらにトレッドにサイビングを入れた。

このスパイクタイヤは、スパイクタイヤ No. 2 の欠点として考えられる舗装路面走行時におけるスパイクピンの突出寸法の動きによるシャンク摩擦の防止、スパイクピン突出力を弱める作用を目的としている。舗装路面をタイヤが走行すると、タイヤ及びスパイクピンの温度が上昇する。このとき形状記憶合金作動材は、スパイクピンが舗装路面から押し込まれる力と共に突出力を弱めて突出長さを短くする働きをする。一方、雪が圧雪及び凍結した路面走行では、タイヤ及びスパイクピンの温度が低いいため、スパイクピン突出力及び突出



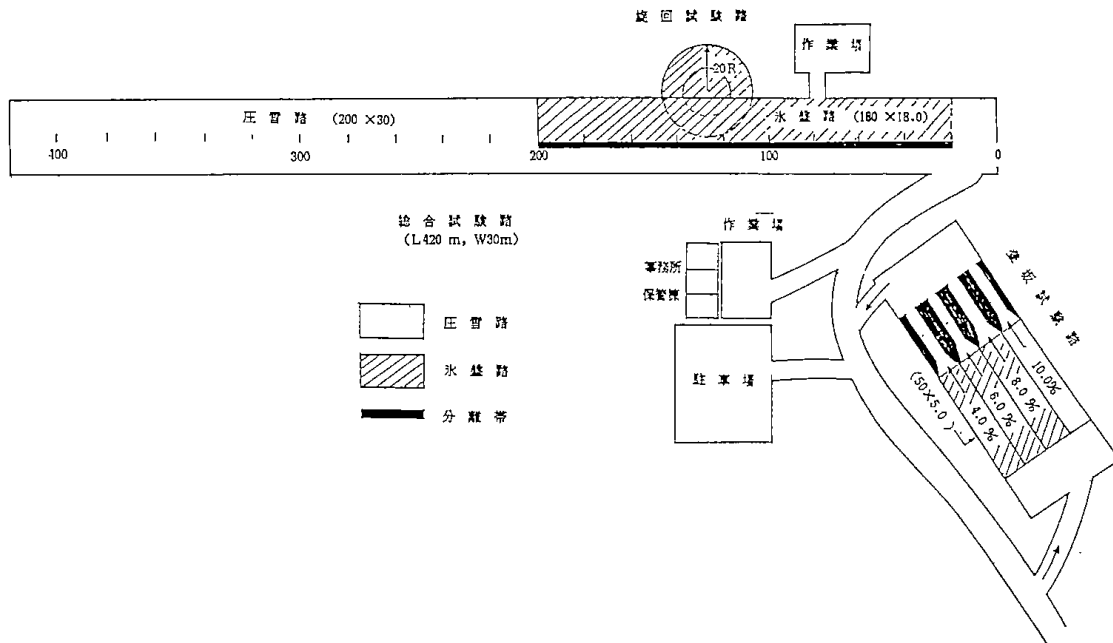
No. 1

No. 2

No. 3

No. 4

写真VII-2 試験スパイクタイヤ



図VII-1 テストコース概要

寸法を弱める作用がなくなる構造のスパイクタイヤである。なお、タイヤ SPT-1～4 を写真VII-2 に示す。

(3) スパイクタイヤのならし走行

SPT-1～4 を冬期間の無積雪道路で200km のならし走行を行った後、圧雪路、氷盤路で制動、駆動試験を行った。また、表VII-1 のスパイクピン突出寸法は、制動、駆動試験後の測定値である。

VII-2-2 スパイクタイヤの圧雪路及び氷盤路性能試験法

(1) テストコース及び路面状態

テストコースは、図VII-1 に示した北海道士別市郊外に設置されたものを使用した。圧雪路は、降雪をタイヤローラー及び大型除雪車で踏み固めた普通の圧雪路である。

氷盤路は、圧雪路上に水を繰り返し散布し、氷結させて作製した滑らかな氷盤である。

(2) テレメーター型ホイールトルク式試験車

ブルーバード1800cc、FF 車に、テレメーター型ホイールトルク測定装置を装備した写真VII-3 に示す試験車を使用した。その使用概要を表VII-2 に示す。

測定方法は、試験車の右後輪に標準タイヤ、左後輪に試験タイヤを取り付け、試験路面を一定速度で走行保持させながら、左右後輪だけをサイドブレーキで、徐々にブレーキをかけ、タイヤ回転を停止させていく、停止後（タイヤロックの状態）



写真VII-3 テレメーター型ホイールトルク式試験車

しばらく一定速度でスリップさせてタイヤに発生する制動トルクをホイールトルクメーターで検出し、制動カースリップの比の関係を求めた、

計測項目は、制動トルク、試験回転数等の出力をデータレコーダーに記録した。輪荷重及び試験車速度、タイヤ半径は別途に測定し、パーソナルコンピューターを用いてデータを処理した。

(3) 路面すべり測定車

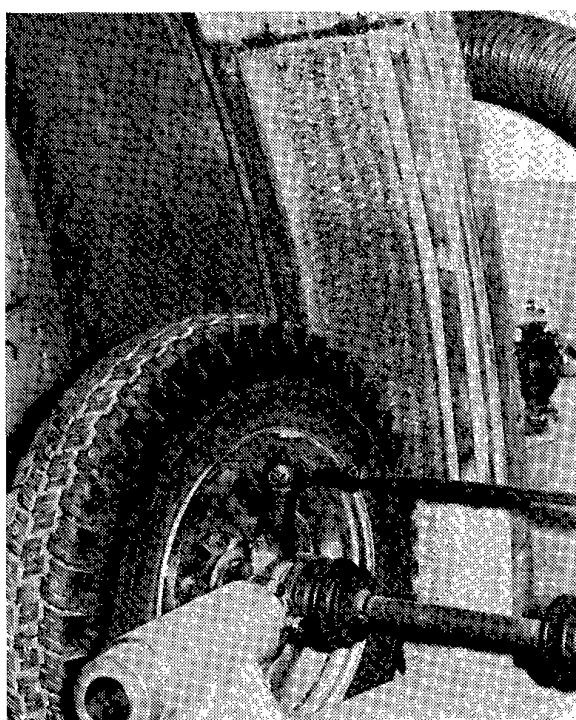
路面すべり測定車は、車体ほぼ中央部にタイヤ測定軸を備えており、試験タイヤを取り付けて試験路面を走行させて、タイヤ性能を測定するものである。

車室内に設置された制御装置により、駆動・制動状態を再現し、そのときタイヤに発生する駆動トルク・制動トルクをトルクメーターで検出し、



表VII-2 テレメーター型ホイルトルク試験車

試験車			
ブルーバード	1800cc (U-11)	FF車	62年
車両重量	前軸	:	650kg
	後軸	:	390kg
荷重		:	2名乗車+計測器 (170kg)
テレメーター式ホイルトルク装置			
ホイルトルク変換器	:	共和電業製	WHT-150KMS57-A型
ひずみ測定用小型テレメーター	:	共和電業製	MRT-200A, 210B, 220B
タイヤ回転計	:	小野測器製	TM-280
データレコーダー	:	共和電業製	RTP-650A



写真VII-4 摩耗試験機

駆動力・制動力とスリップ比との関係を求める。

計測項目は、試験輪荷重、駆動・制動トルク、試験輪回転数及び試験車速度である。これらの出力をデータレコーダに記録し、パーソナルコンピュータを用いてデータを処理した。

#### VII-2-3 スパイクタイヤの舗装摩耗情試験法

##### (1) 摩耗試験機の舗装面

スパイクタイヤ用舗装摩耗試験機として、写真VII-4に示した直径3mのドラム内面に30cmの幅のレジンコンクリート舗装走行路面の1ブロック部分に、アスファルト舗装供試体(サイズ、30cm×60cm×4cm)を取り付けたインサイドドラム型の試験機を用いた。

アスファルト供試体は札幌市道路舗装仕様に準拠して作られた、細粒度ギャプアスコンを使用して作製した。その性状と骨材及び混合配合表を表VII-3、VII-4に示した。

##### (2) アスファルト供試体の作製方法

表VII-3 骨材の性状

材 料 名	種 別	製造所・産地等	備 考
アスファルト	ストレート 80-100	コスモ石油(株)	
石 粉	石 灰 石 粉	日鉄鉱業東鹿越	
	細 砂	石狩郡知津狩	
細 骨 材	粗 砂	勇払郡鷗川町字汐見	
粗 骨 材	碎石 5-2-5	菱光産業手稲	
	碎石 13-5	菱光産業手稲	

表VII-4 アスファルト混合物配合量

配合表	ア ア ス フ ト	石 粉	細 粉	細 砂	5- 2.5	13-5		
骨材率 (%)	-	12.9	31.1	9.5	15.5	31.0		
全配合 率(%)	7.0	12.0	29.0	8.8	14.4	28.8		
配合 条件	G/S	F/A	細砂 粗砂					
	43.4	1.71	76.6					
マー シヤ ル 試 験	実 容	理 容	ア ス 容	空 隙	V M A	飽 和 度	安 定 度	フ ロ
				3 ~ 5		75 ~ 85	以上 500	20 40
	2. 324	2. 422	15. 84	4.05	19. 89	79. 64	719	31
	2. 325	2. 422	15. 85	4.00	19. 85	79. 85	725	32
配 合 表		ア ス フ ア ル ト	石 粉	1 ビ ン	2 ビ ン	3 ビ ン	4 ビ ン	
	骨材率	-	12.9	43.6	19.5	24.0		
	合配合率	7.0	12.0	40.6	18.1	22.3		
	重量配合	70	120	406	181	223		

これらのアスファルトコンクリートを、電気乾燥機で120°Cになるまで加熱した。次にこれを写真VII-5の舗装供試体型ワクの中に2~3 cmの高さまで入れながら、鉄棒で押し込みハンマーでよくたたき込みながら締固めて作製した。なお、型ワクから取りはずしを容易にするため、はくり紙を型ワクにはりつけて行った。

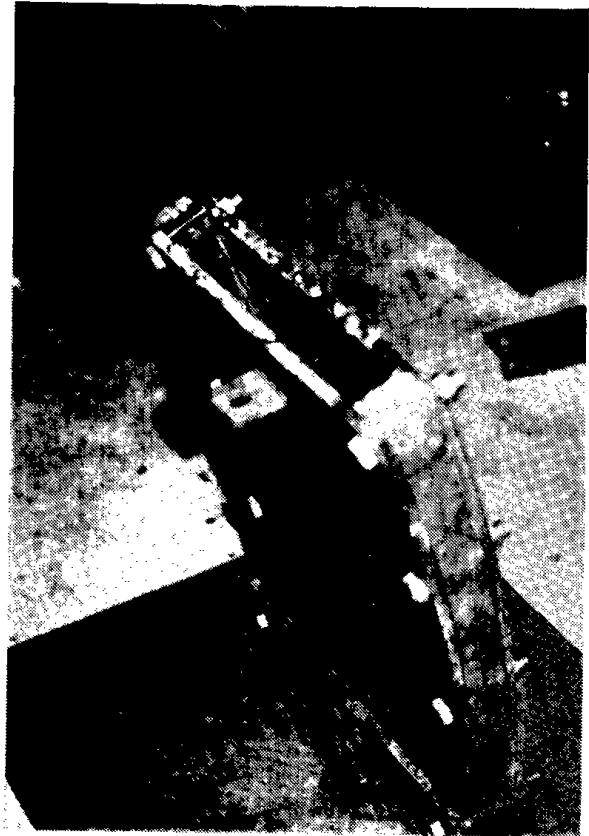
(3) アスファルト舗装供試体表面の表面処理

アスファルト摩耗試験の測定精度をよくするため、舗装供試体をドラム走行面に取り付けてから、切削刃で真円状になるように削り取り平滑な表面とした。

(4) 摩耗試験条件

摩耗試験機は、低温庫内に設置されているが、冷却機的能力が小さいので、庫内をあらかじめ-8°Cまで十分に冷却してから走行した。表VII-5に示した舗装摩耗条件で試験スパイクタイヤを左右横方向に連続的にシフトさせながら7時間走行させた。

アスファルト摩耗量の測定は、小野測器(KK)



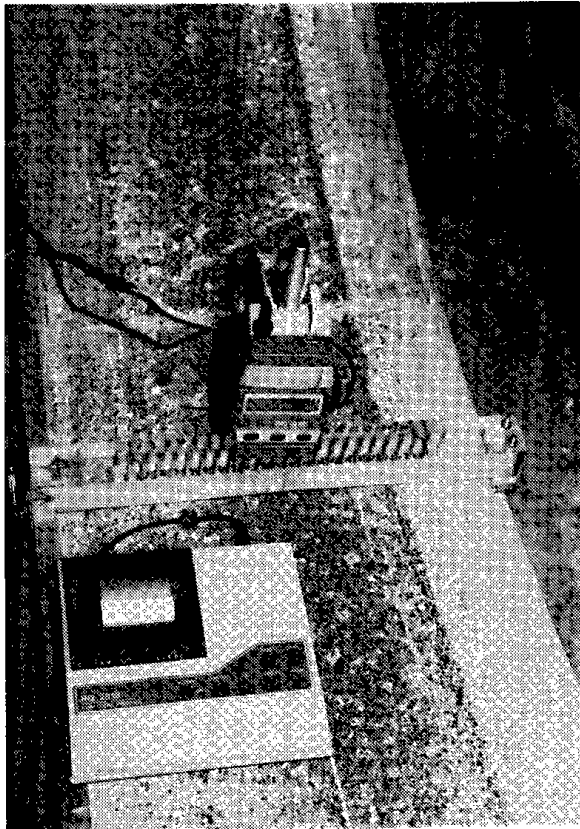
写真VII-5 舗装供試体の型ワク

表VII-5 舗装摩耗試験条件

タイヤ気圧	1.8kg/cm <sup>2</sup>
転荷量	300kgf
速度	40km/h
負荷トルク	10kgf-m
走行回数	30,000回
シフト幅	75mm
タイヤ幅	110mm
室内温度	3~5°C

のダイヤルゲージPG-920型、プリンターPQ-281Bを使用した。測定方法は、27mm×35mmの亚克力樹脂の角材に、デジタルダイヤルゲージのスピンドルが入る測定用穴を均等の間かくで2列、40個をあけた。

この測定定規をアスファルト舗装供試体の上に橋ゲタ状にマグネットでドラム鉄製部に固定した。スピンドルの先を、1.5mmの触針に替えて測定穴から入れて写真VII-6に示したようにして測定した。



写真VII-6 舗装の摩耗量測定器

舗装摩耗量は、測定位置を3個所での平均値で示した。

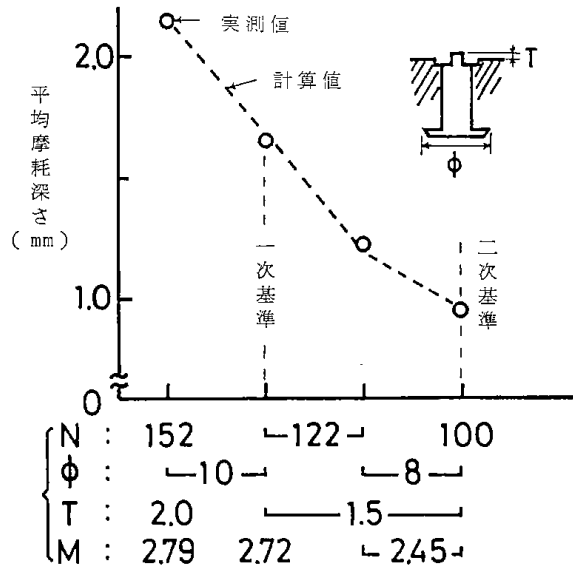
### VII-3 実験結果と考察

#### VII-3-1 スパイクタイヤの評価についての経緯

従来使われてきたスパイクピンの先端の材質は超硬合金でできており、日本自動車タイヤ協会の報告<sup>(6)</sup>によれば、スパイクが舗装路面を傷める因子として図VII-2に示すようにタイヤに打ち込むスパイクの数、フランジの径、突出量およびスパイクの重量をあげており、これらの影響の総計で

$$h = 0.000365 N \cdot \phi \cdot T \cdot M$$

- $h$ : 平均摩耗深さ (mm)
- $N$ : スパイク本数 (本)
- $\phi$ : フランジ径 (mm)
- $T$ : 突出量 (mm)
- $M$ : スパイク重量 (gr)



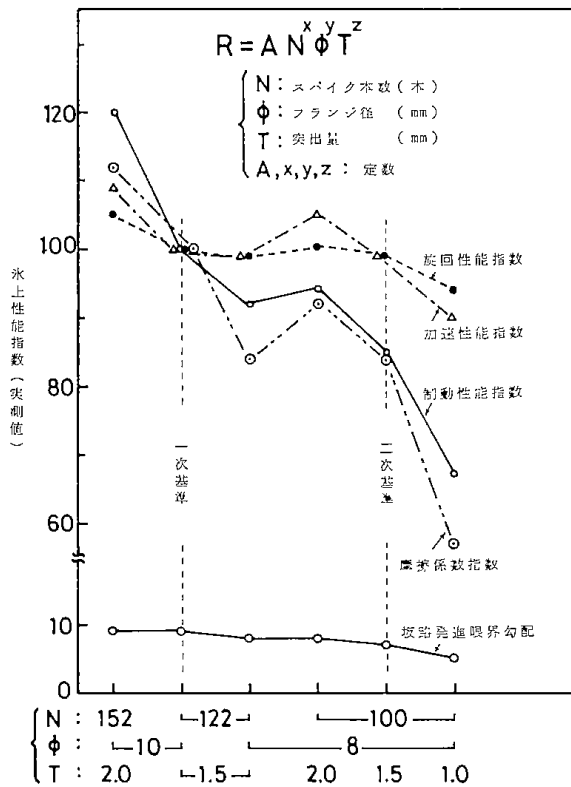
図VII-2 舗装路面の深さに及ぼす  
スパイクの影響(乗用車用タイヤ)  
資料：日本自動車タイヤ協会(6)

定量的に示されるとしている。なお、これらの因子は、舗装面をたたく衝撃エネルギー量に関係するため、できるだけ小さい方が路面を傷めないことが分かる。

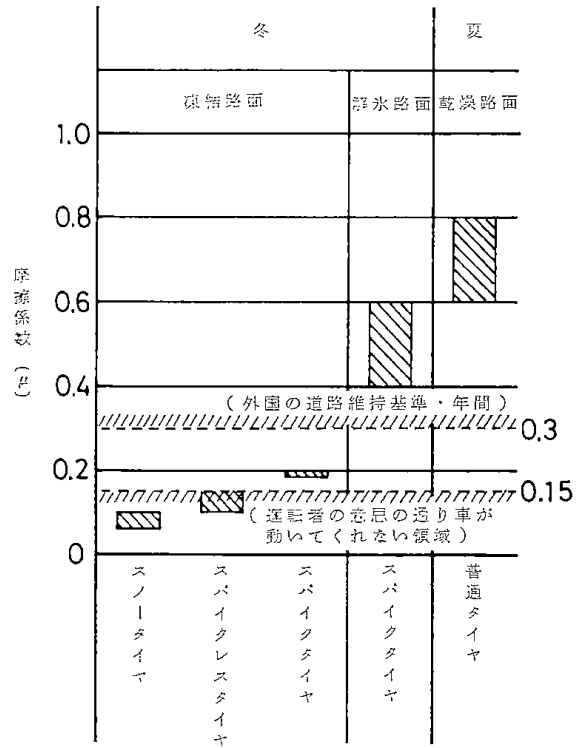
また、別な報告では<sup>(7)</sup>、次の表VII-6に示すように、超硬合金の硬さをわずかに軟かくすることにより、舗装路面の摩耗を少なくする効果が示されている。

表VII-6 スパイクピン諸元の組合せ効果

項目	No.	標準	1	2	3	4	5
突出量 (mm)		1.5	1.0	1.2	1.5	1.2	1.5
フランジ径 (mm)		10	10	8	10	8	8
ピンタイプ		ロー付け	ロー付け	ロー付け	カシメ	カシメ	カシメ
チップ硬度 CRA		88.5	88.5	88.5	88.5	87.5	88.5
ゴム厚 (mm)		+0	±0	±0	±0	+2	±0
舗装摩耗比		100	78	51	80	34	58



図VII-3 氷上各種性能に及ぼすスパイクの影響 (乗用車用タイヤ)  
資料：日本自動車タイヤ協会(8)



図VII-4 路面状態によるタイヤの安全性  
資料：菅原教授 (北大工) (9)

一方安全面を見た場合、これらのスパイクタイヤが氷上で示す制動効果は、図VII-3<sup>(8)</sup>に示されるように舗装面の摩耗を抑えたタイヤほど低下しているのが明らかである。

最近車粉防止のためスパイクタイヤを使わないスタッドレスタイヤの使用が叫ばれ、年々その使用者が増えつつある。図VII-4<sup>(9)</sup>は、氷上におけるスパイクタイヤとスタッドレスタイヤの摩擦係数を比較して示したものである。摩擦係数を比べる限りではスパイクタイヤの方が幾分かまっ

り、安全性について説得力のある評価が望まれている。

#### VII-3-2 圧雪路、氷盤路での実車走行試験による制動・駆動に関する評価

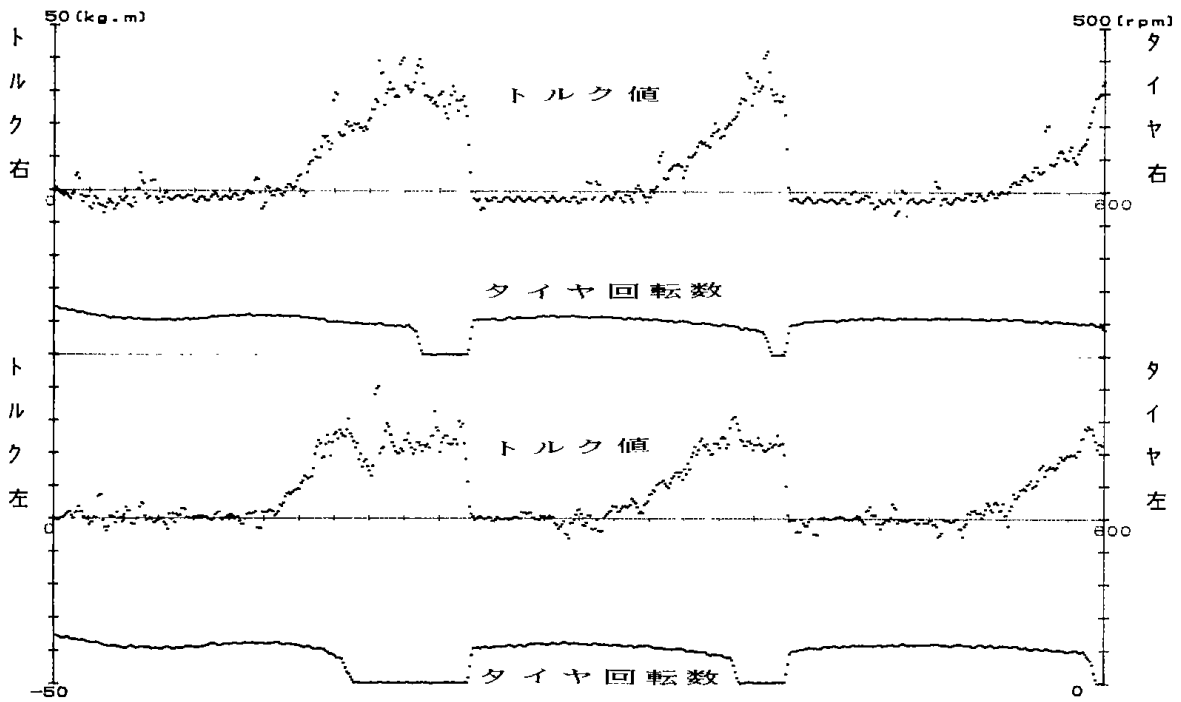
SPT-1 タイヤを、ホイルトルク式試験車で圧雪路及び氷盤路で、速度20km/h及び40km/hで測定したトルク値-タイヤ回転数の生データを図VII-5~8に示した。また、この生データから試験結果の算出は、生データの3回以上の平均値を求めてから、SPT-4の値を基準に補正した。

表VII-7 試験タイヤのロックトルク値

路面	圧雪		氷盤	
	20	40	20	40
スパイクタイヤNo.1 (kg-m)	22.7	28.7	14.8	15.0
スパイクタイヤNo.2 (kg-m)	25.5	25.8	12.4	13.3
スパイクタイヤNo.3 (kg-m)	25.1	28.5	13.6	13.9
スパイクタイヤNo.4 (kg-m)	29.0	31.8	13.1	13.9
スタッドレスタイヤ	—	—	10.8	9.1

測定時温度 気温 -2.9~-4.0°C  
圧雪路 -2.4~-5.6°C  
氷盤路 -1.6~-2.9°C

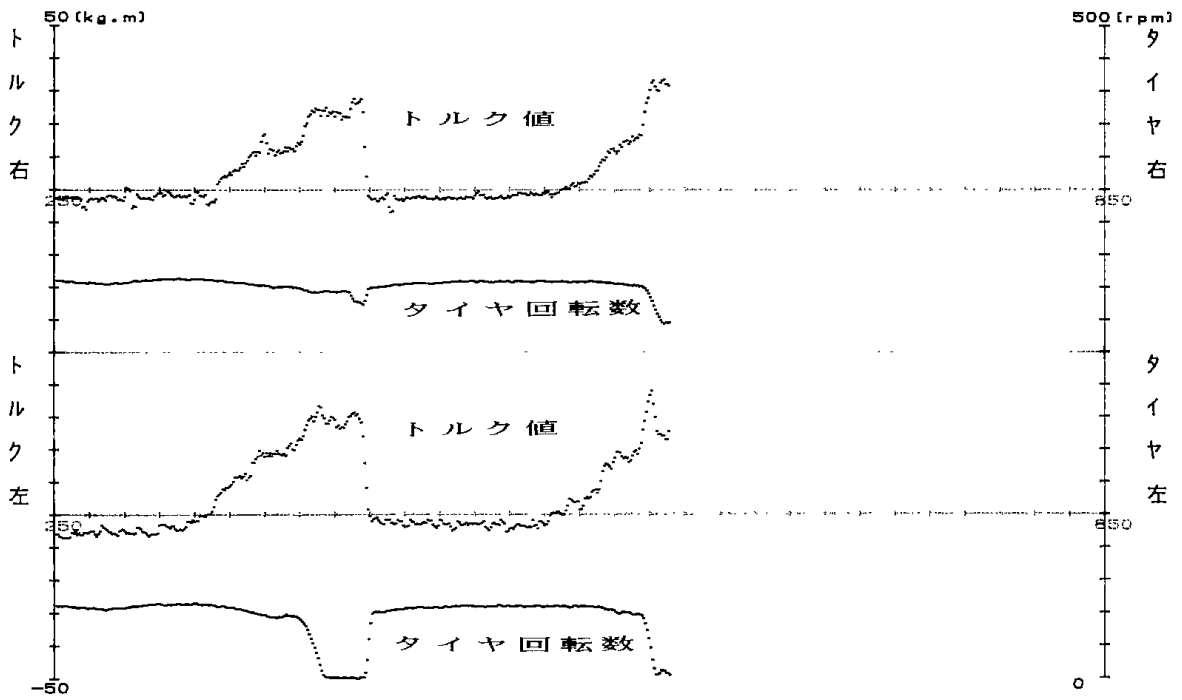
File Name: F1-R-1  
 タイヤ No.: 1  
 タイヤ サイズ: 580-13



図VII-5 トルク値—タイヤ回転数

タイヤ 右……基準タイヤ (SPT-4)      路面 圧 雪  
 左……試験タイヤ (SPT-1)      速度 20km/h

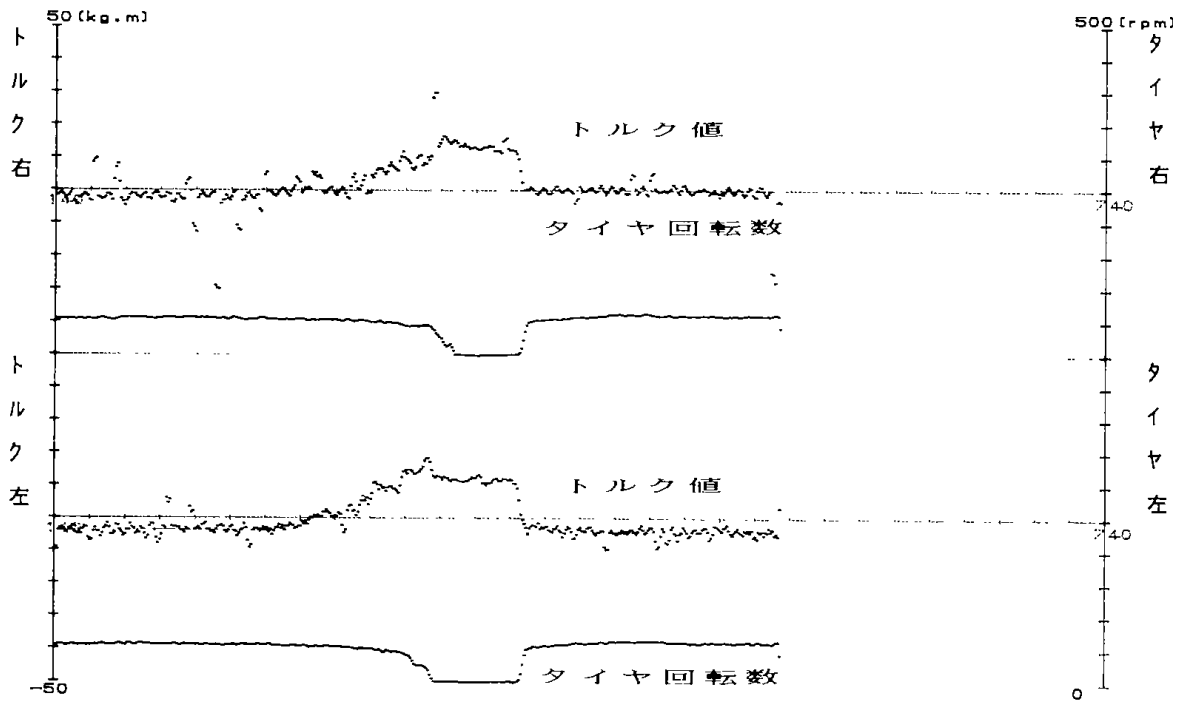
File Name: F1-R-5  
 タイヤ No.: 1  
 タイヤ サイズ: 580-13



図VII-6 トルク値—タイヤ回転数

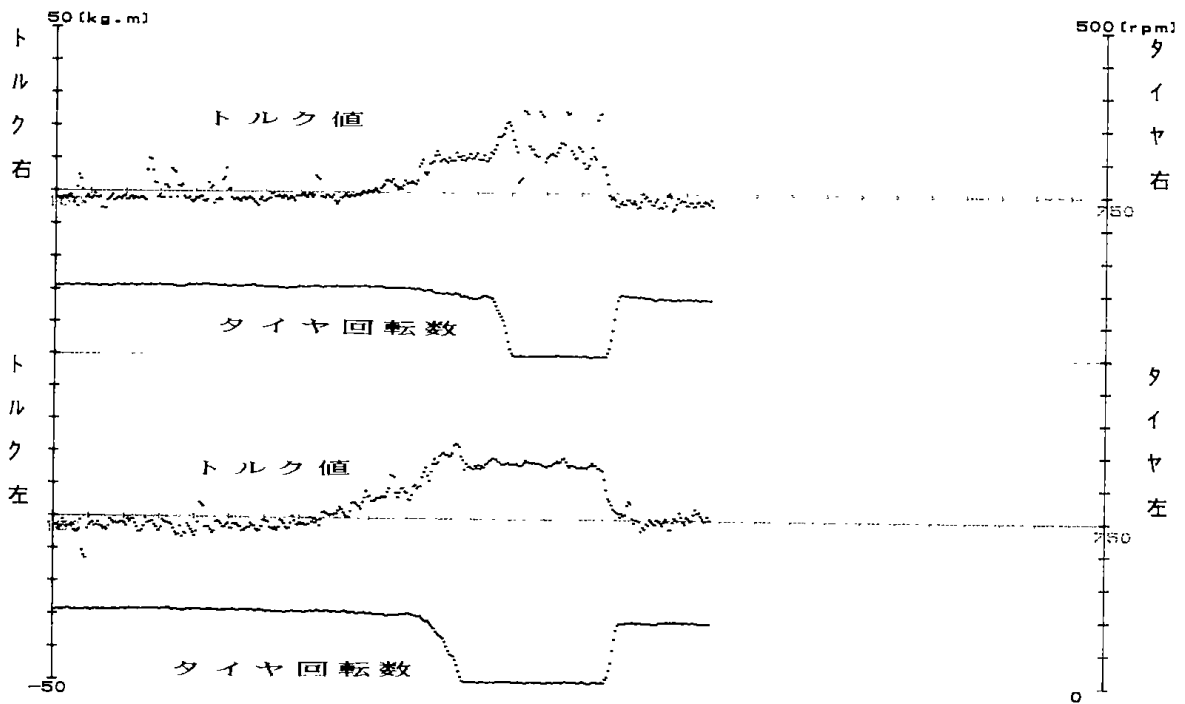
タイヤ 右……基準タイヤ (SPT-4)      路面 圧 雪  
 左……試験タイヤ (SPT-1)      速度 40km/h

File Name : F1-R-2  
 タイヤ No. : 1  
 タイヤ サイズ : 560-13



図VII-7 トルク値-タイヤ回転数  
 タイヤ 右……基準タイヤ (SPT-4) 路面 氷 盤  
 左……試験タイヤ (SPT-1) 速度 20km/h

File Name : F1-R-7  
 タイヤ No. : 1  
 タイヤ サイズ : 560-13



図VII-8 トルク値-タイヤ回転数  
 タイヤ 右……基準タイヤ (SPT-4) 路面 氷 盤  
 左……試験タイヤ (SPT-1) 速度 40km/h

補正方法はSPT-1~3のタイヤ測定時の第2次基準タイヤ(SPT-4)の平均値を求め、基準タイヤと基準タイヤ平均値の係数値で補正した。その結果を表VII-7に示した。

SPT-1~3及びスタッドレスタイヤ(略STL)を、路面すべり試験車で測定した路面摩擦係数-スリップ比特性(略 $\mu$ -S特性)の生データを、図VII-9~16に示した。

生データの出力結果に対するx軸、y軸の補正については、駆動-制動のデータの取り込みが、無負荷で、タイヤが回転しない停止の状態ゼロとしている。これが試験時には、タイヤが試験速度で回転するため、回転により駆動トルクが発生する、この駆動トルクを補正するため、y軸の原点は駆動側に移動する。

また、x軸のスリップ比は、自由転動時の状態を基準として計算しているため、自由転動時と試験時において、試験車の速度変動などにより、スリップ比ゼロとして表される結果とx軸の原点が重ならない事が多い。これらの要因により、x軸、y軸を点線に補正した。また、その結果をロック摩耗係数の表VII-8に示した。

表VII-8 試験タイヤのロック摩擦係数

速度 路面	20km/h	
	圧雪	氷盤
スパイクタイヤNo.1	0.24	0.18
スパイクタイヤNo.2	0.27	0.17
スパイクタイヤNo.3	0.28	0.17
スタッドレスタイヤ	0.18	0.13

#### (1) 圧雪路面での性状について

ホイルトルクメータ式試験車での測定結果では、速度20km/h及び40km/hにおけるロックトルク値は、SPT-4がSPT-1~3に比べ10~20%性能がよい結果となった。しかし、一般的に圧雪路では、スパイクピンの作用は小さく、トレッドパターン、ゴム物性が性能に大きく作用している。今回のSPT-4と、SPT-1~3のタイヤは、A社の同型式で同じトレッドパターンであるが、年式が62年度規制前と規制後であることの違いや、ホイルトルクメータ試験車においては、SPT-4は右後輪、SPT-1~3は左後輪に取り付けて測定した差異、また、テストコースの状態

から生じる違いなどを考慮して検討する必要がある。

すべり試験車による測定結果では、SPT-2と3は、 $\mu$ -S特性は、ほぼ同じ特性である。SPT-1は、SPT-2及び3と比較すると、S値が0.2より小さいときはほぼ同じであるが、S値が0.2より大きくなると $\mu$ は少しずつ小さくなり0.6で最小、以後タイヤロック値1.0まで僅かずつ $\mu$ は大きくなる。SPT-2及び3にはサイビングがあり、SPT-1サイビング無しが大きな差異で、圧雪ではスパイクピンの作用が小さいことから、このサイビングによる効果と考えられる。SPT-1~3とスタッドレス(略、STL)の比較では、STLは、図VII-15からS値が0.18付近に最大 $\mu$ がある。S値が大きくなるにしたがって $\mu$ 値は少しずつ小さくなり、ロック値で最小 $\mu$ 値になる。

これらのことから、圧雪路面状態によっては、サイビング形状差によっても、 $\mu$ -S特性に大きな性能差が生じることが明らかになった。

#### (2) 氷盤路面の特性について

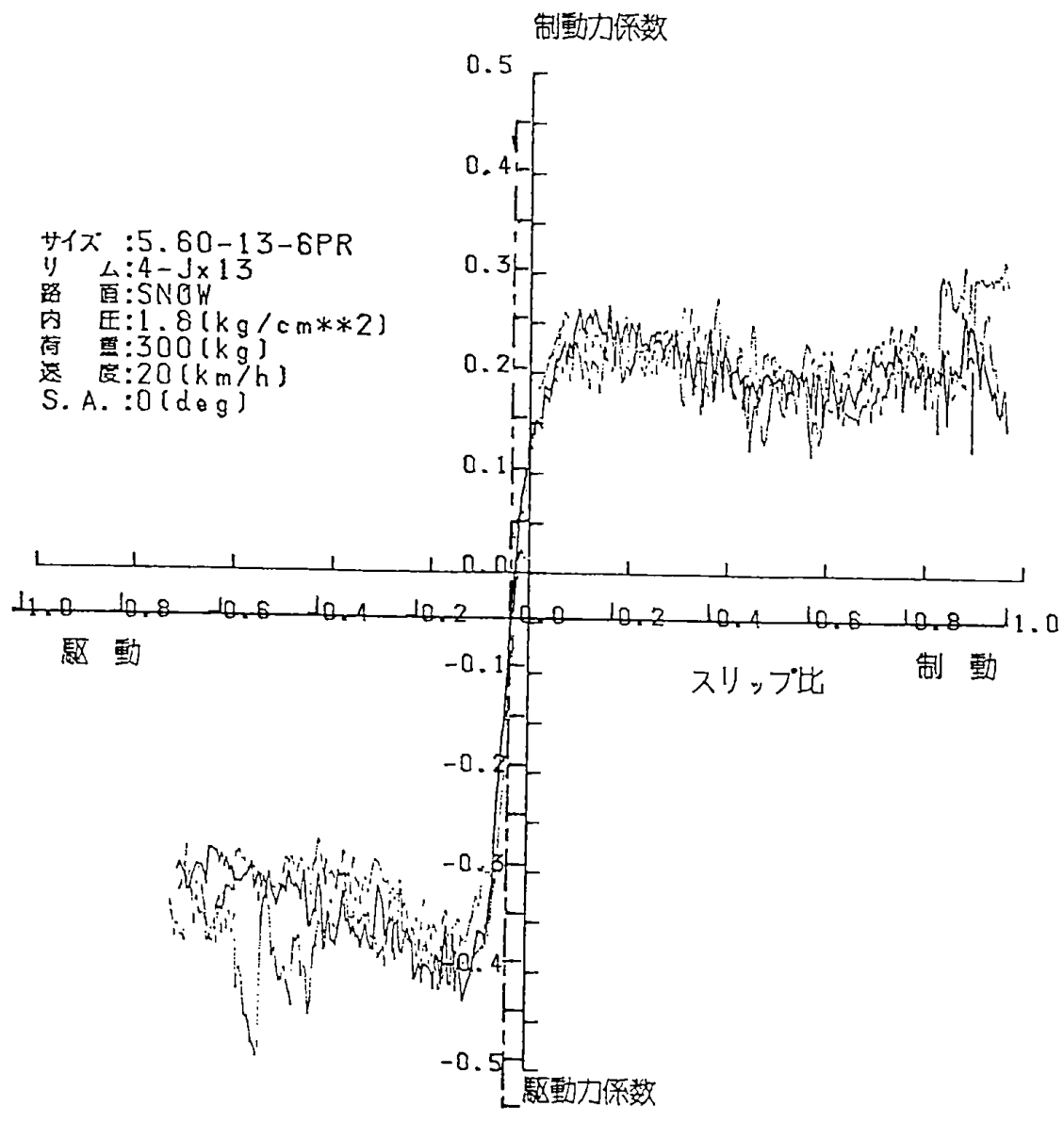
ホイルトルクメータ試験車による測定では、速度20km/h及び40km/hにおけるロックトルク値は、SPT-1がSPT-2~4に比べて少し少ない、SPT-2~4はほぼ同じであった。この傾向は、表VII-1のスパイクピン突出寸法からも理解できる。

また、SPT-1~4とSTLの特性比較では、速度20km/hのロックトルク値で、SPT-1~4は約20%ほど性能がよい、速度40km/hでは約25%ほど性能がよい。すべり試験車による測定結果では、SPT-1の $\mu$ -S特性でS値が0.5までは、SPT-2~3の方が少しよい、S値0.5~1.0では逆にSPT-1がよくタイヤロック値で0.1 $\mu$ よかった。この結果については、SPT-2及び3にサイビングが有るため、スタッドレスタイヤのようにサイビングを入れることによって、氷盤路での $\mu$ -S特性が低S値がわで大きく高S値になるにしたがって小さくなることから考えられる。

一方、スパイクタイヤは、スパイクピン作用のある高S値での性能がよい、スパイクピン突出寸法、突出力が大きいほど性能はよくなる、SPT-2及び3はスパイクピン埋め込み構造上、突出力、突出寸法がSPT-1に比べ弱いと思われる。

また、SPT-1~3とSTLの $\mu$ -S特性は、S値が0.2で50%、S値1.0で65%ほどSTLより性

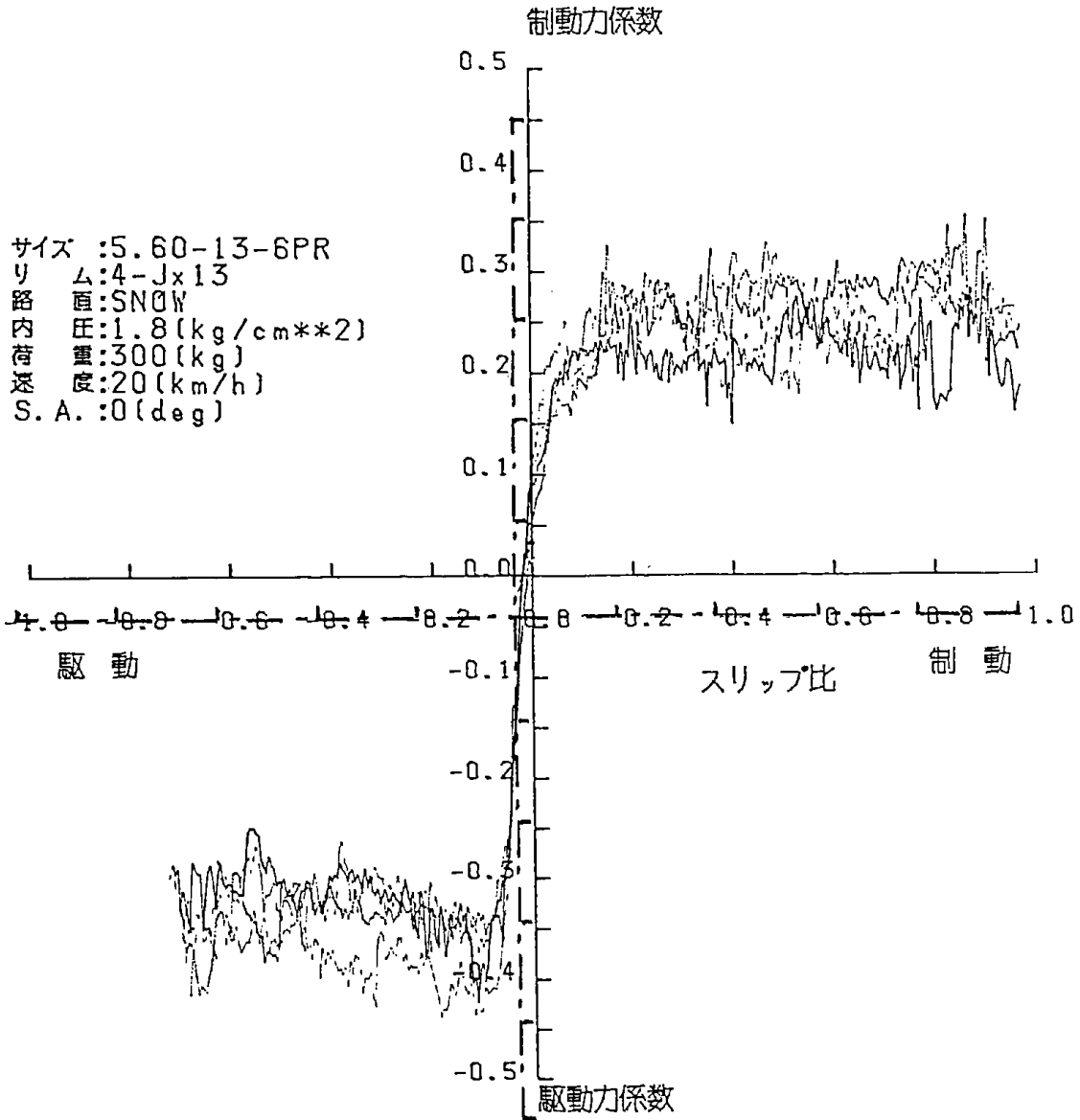
----- 1st.  
 ..... 2nd.  
 ----- 3rd.  
 ----- 4th.  
 ----- x 軸、y 軸補正值



図VII-9 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 1 — 圧雪)

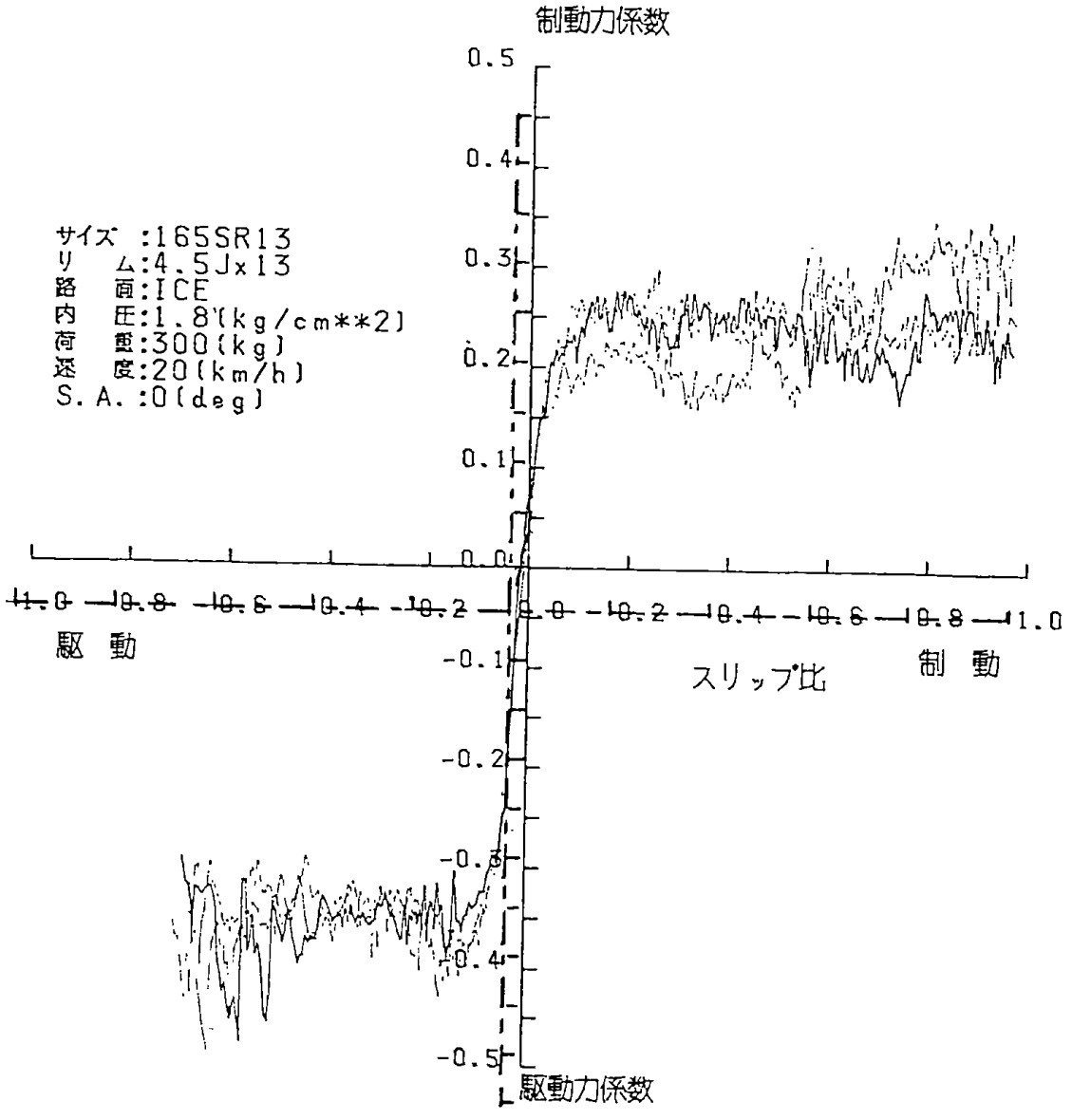


----- 1st.  
 - - - - - 2nd.  
 \_\_\_\_\_ 3rd.  
 ----- × 軸、y 軸補正值



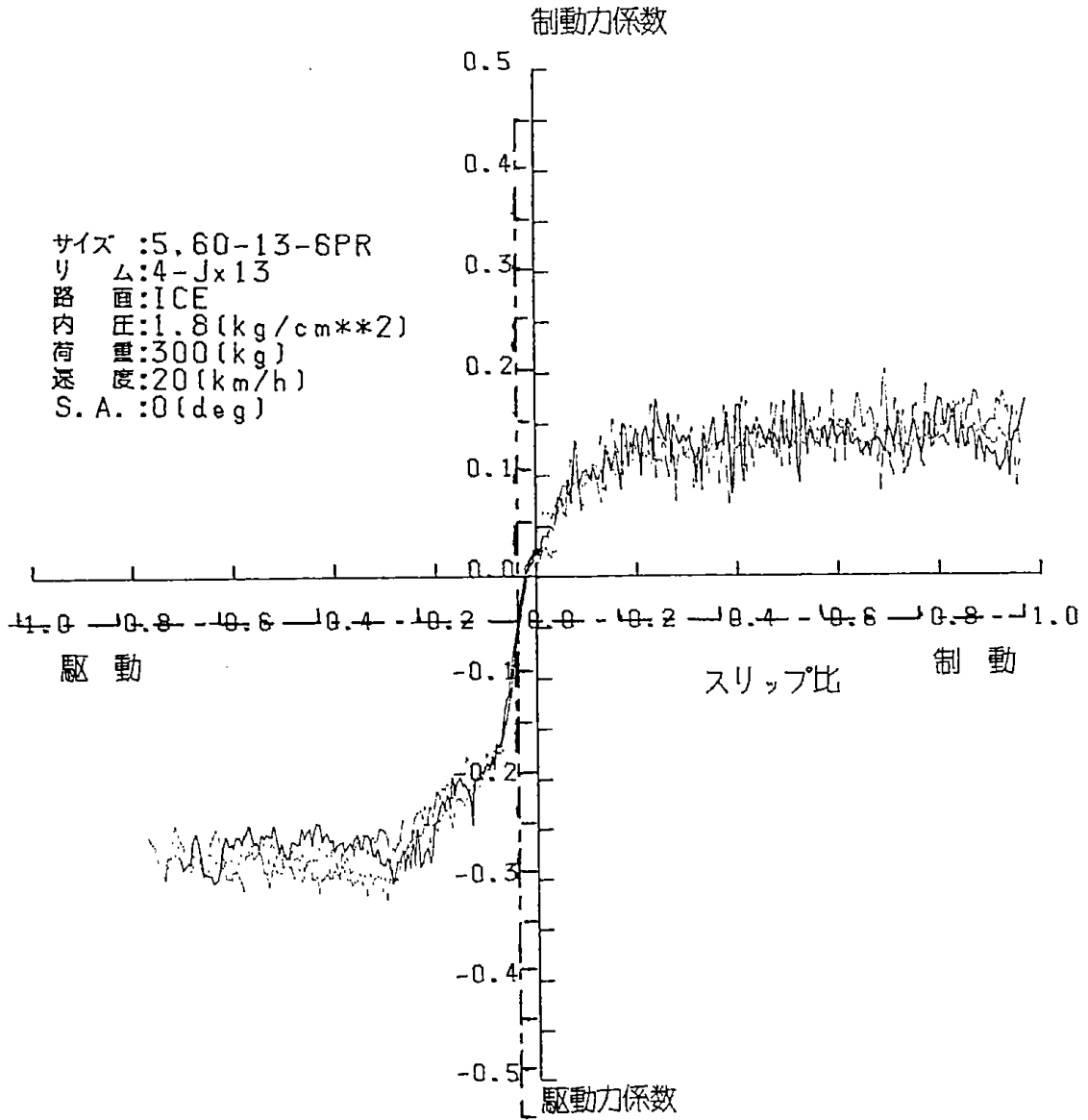
図VII-10 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 2 — 圧雪)

..... 1st.  
 - - - - - 2nd.  
 \_\_\_\_\_ 3rd.  
 - - - - - x 車軸 - y 車軸補正值



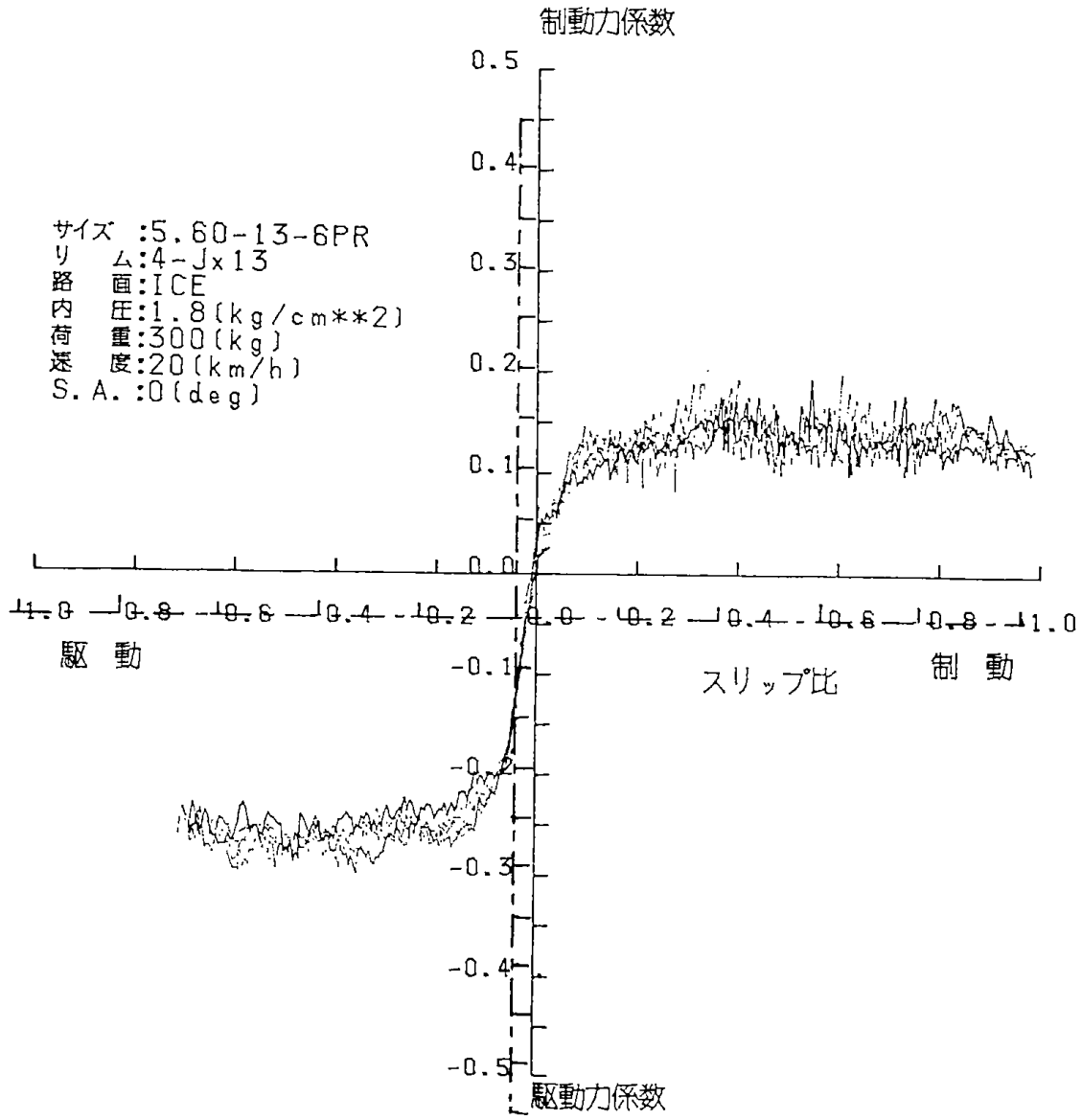
図VII-11 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 3 — 圧雪)

----- 1st.  
 ----- 2nd.  
 ----- 3rd.  
 ----- x 軸、y 軸補正值



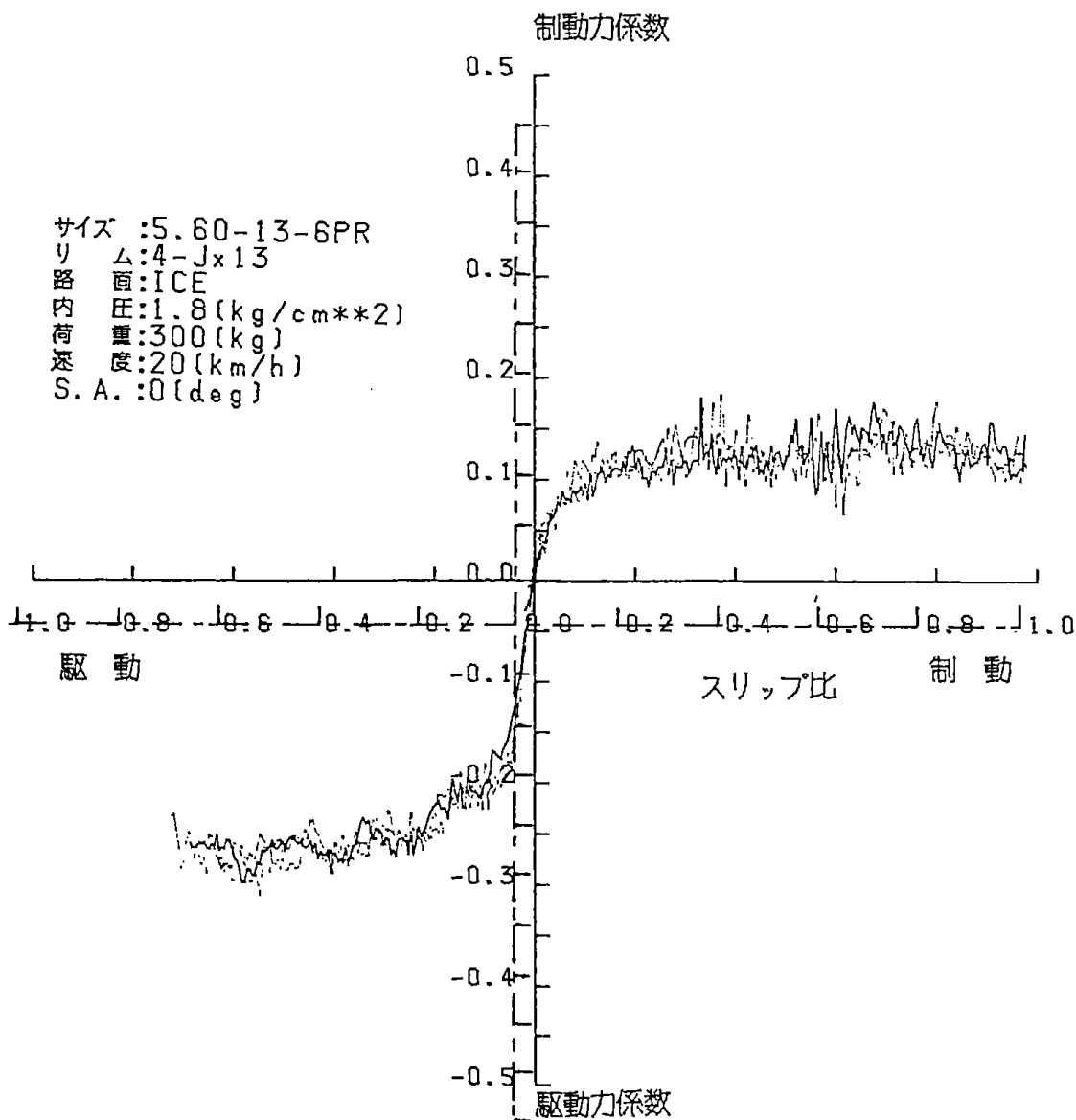
図VII-12 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 1 — 氷盤)

----- 1st.  
 - - - - - 2nd.  
 ----- 3rd.  
 ----- 4th.  
 ----- × 車軸、∨ 車軸補正值



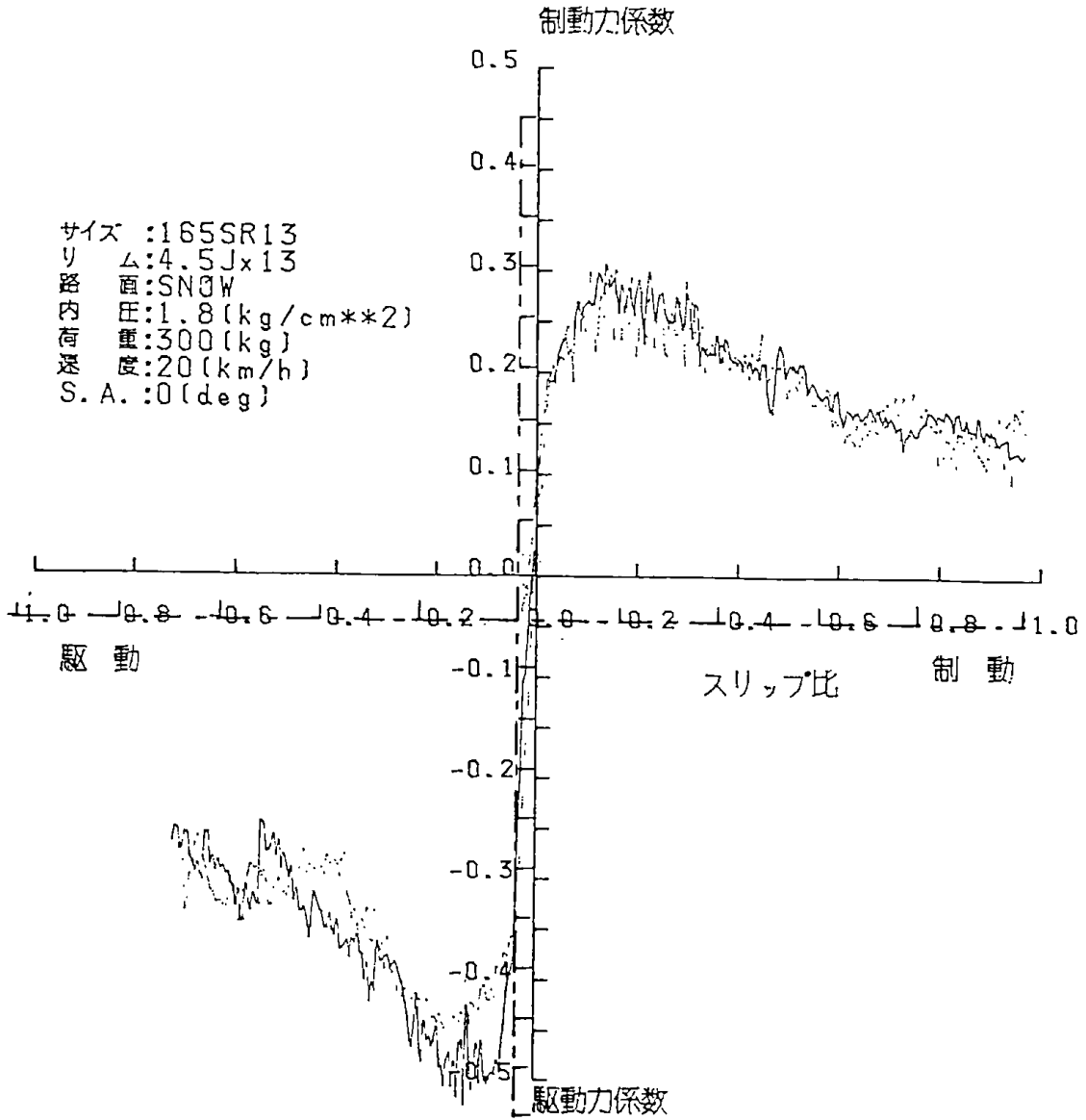
図VII-13 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 2 — 氷 盤)

..... 1st.  
 ..... 2nd.  
 ..... 3rd.  
 ..... × 軸、 √ 軸補正係



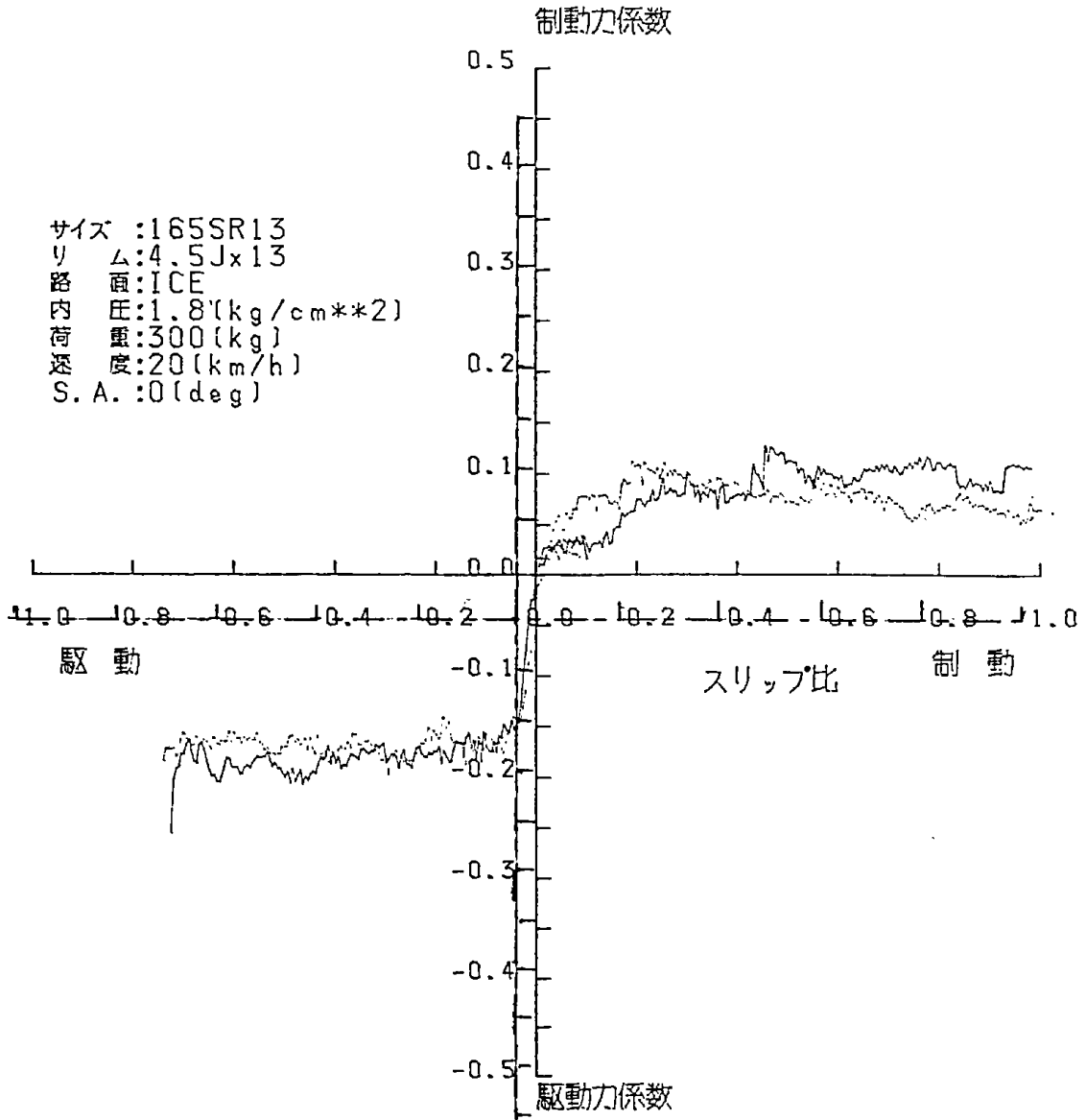
図VII-14 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スパイクタイヤ 3 — 氷盤)

———— 1st.(スパイク試験前)  
 - - - - - 2nd.( " 後)  
 - - - - - × 軸、y 軸補正值



図VII-15 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スタッドレスタイヤ — 圧雪)

\_\_\_\_\_ 1st.  
 - - - - - 2nd.  
 - - - - - × 軸 - y 軸補正値



図VII-16 路面摩擦係数 — スリップ比特性  
 (スタッドレスタイヤ — 氷盤)

能がよいことを示している。

VII-3-3 室内試験機によるスパイクタイヤ舗装  
摩耗試験

表VII-9及び写真VII-7にSP-1～4の舗装

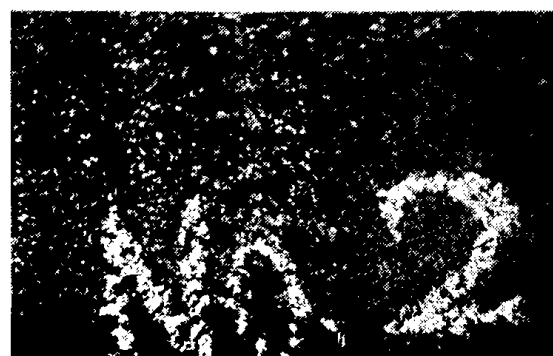
摩耗試験結果と摩耗状態を示す。SPT-4の2次  
規制（昭和62年度）タイヤを基準とした比較試験  
で、SPT-1による摩耗量が約16%少ない。試験  
に用いた試作ピン SPT-1の試験前と試験後の

表VII-9 舗装摩耗試験結果

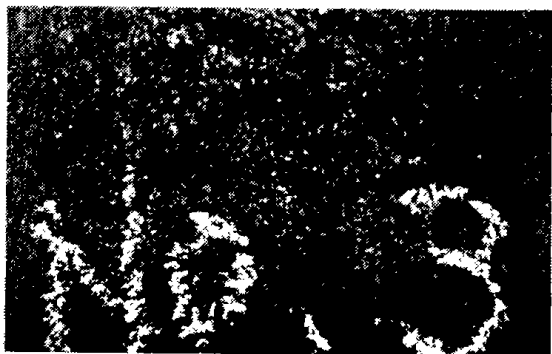
	平均摩耗量(mm)	摩 耗 比
スパイクタイヤ1 (SP-1)	0.65	0.84
スパイクタイヤ2 (SP-2)	0.58	0.75
スパイクタイヤ3 (SP-3)	0.79	1.02
スパイクタイヤ4 (SP-4)	0.77	1.00



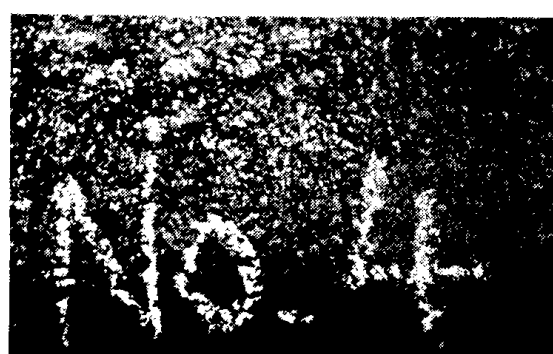
スパイクタイヤー 1



スパイクタイヤー 2



スパイクタイヤー 3



スパイクタイヤー 4

写真VII-7 舗装摩耗状態

ピンの先端の摩耗状態を写真VII-8に示す。なお  
試験後のピンはタイヤの進行方向に対して直角方  
向に装着されたものを並べてある。いずれも試験  
前に比べてピンの先端が多少摩耗しており、それ  
だけ粉塵の発生を少なくしているものと思われ  
る。

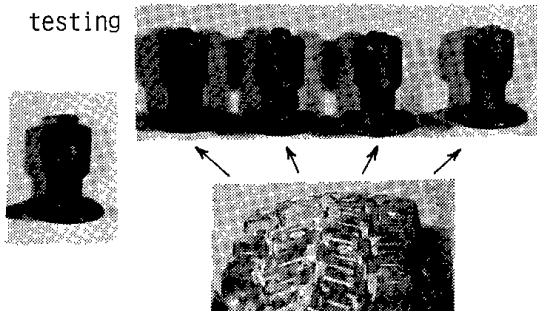
SP-2は、第2次規制の基準タイヤより摩耗量

が約25%少なくなった。このことはスパイクピン  
フランジ底部に円形切り込みを入れることによっ  
て、低公害の効果が大きくなることを示している。

SP-3は、摩耗量が上記基準タイヤとほぼ同じ  
であった。この場合 SPT-3のスパイクピン本体  
の重量が、バイアス材を使用した機構上、SPT-  
4に比べ48%も重いので、これを小型軽量化する



(1) Before testing (2) After testing



写真VII-8 試作ピン (SP 1: 鉄-アルミナ複合材) の摩耗試験前後の状態

ことによって、より低公害化されることが期待できる。

#### VII-4 結 言

当所で開発した試作タイヤの性能評価の結果は次のとおりである。

- (1) 鉄-アルミナ複合材を先端に取り付けたスパイクタイヤ (No.1) は、圧雪路より氷盤路での制動、駆動効果に優れており、一方舗装路面摩耗試験では、ピン先端の摩耗で舗装面の摩耗を軽減する効果が認められた。なお耐久性については複合材の耐摩耗性の向上がさらに必要である。
- (2) サイビングによるスパイクタイヤ (No.2) は、氷盤路での性能低下がみられなかった。舗装面の摩耗については、62年度からの第2次規制の低公害型である市販スパイクタイヤに比べて25%の低公害化効果が認められた。
- (3) 形状記憶合金をバイアス材に用いたスパイクタイヤ (No.3) は、氷盤路での性能及び舗装面の摩耗状態が上記市販スパイクタイヤの場合に比べて大差は無かった。が、スパイクピン本体を62年度規制の寸法と同じように小型軽量化を図ることによって、さらに低公害化が期待できる。

#### 文 献

- (1) 鈴木良和, 広木栄三, 窪田 大: 昭和61年度公害特別研究報告集 (昭和62年8月), 45~15.
- (2) 札幌市スパイクタイヤ問題対策会議: “「車粉」スパイクタイヤ問題について” (昭和60年

2月), 16.

- (3) 北海道弁護士会連合会, 札幌弁護士会: “車粉砂漠からの出口を求めて”, (1984, 12), 50.
- (4) 広木栄三, 鈴木良和, 窪田 大, 後藤藤太郎: 産業公害, vol. 22, No. 2 (1986), 105.
- (5) 後藤藤太郎, 広木栄三, 鈴木良和, 窪田 大: 昭和60年度公害特別研究報告集 (昭和61年8月), 46-17.
- (6) 日本自動車タイヤ協会: スパイクタイヤ舗装摩耗試験結果報告書 (昭和59年9月), 20.
- (7) 久保 宏, 熊谷茂樹, 山西信雄, 小笠原章, 大類和昭: 土木試験所月報, No. 374, JULY (1984), 9.
- (8) 日本自動車タイヤ協会: スパイクタイヤ試験結果報告書 (昭和59年5月), 26.
- (9) 日本自動車タイヤ協会: “みんなで考えようスパイクタイヤ問題” (昭和58年7月), 30.

#### 結 論

本研究では、低公害化を目指した機能材料の探索と機能構造の開発で、アクティブコントロールドスタッドを設計・試作し、低公害スタッドタイヤを開発するための基礎技術の確立を図った。

さらに、スタッドタイヤの低公害化の評価基準をできるだけ積雪寒冷地の実状に近づけるため、条件設定の再現が可能な室内試験機と冬期間の実車走行による試験の併用で、性能評価ができる技術の確立を図った。

これらの結果について報告した各章の概要は次の通りである。

緒論では、はじめにスパイクタイヤに関する背景と低公害化への対策、並びに研究に至った経緯について述べ、3ケ年に亘って当所で進められた本研究の概要を年度別に記述した。

第I章では、車粉公害をもたらした従来のスパイクタイヤについての特性を調べ、その問題点について明らかにした。試験には市販のスパイクタイヤの未使用のものと、これを実車で約2万km走行した後のタイヤを比較しながら検討した。その結果、スパイクの有無によるタイヤの圧縮強度とゴムの変形量との相関から、走行によってスパイクタイヤが摩耗することにより、走行中路面に作用するスパイクピンの突き出し力を大きくしていることが予測できた。

第II章では、従来の超硬合金を使用したピン素材に対して車粉公害を防ぎ且つ安全性が確保できる素材の開発を目指し、その可能性を明らかにした。

本研究では、鉄ベースをマトリックスとして、セラミックス粒子を分散させた複合材を開発した。さらにマトリックス鉄を浸炭焼入れし、微粒酸化物を添加することによって耐摩耗性を向上させることができた。

第III章では、スパイクピンが温度差によってタイヤのトレッド面から出入り可能なデバイス材として使用する場合の形状記憶合金の有効性を明らかにした。Ti-Ni系形状記憶合金を対象に、実用上問題となる熱サイクル劣化性について検討し、その耐久性が充分あることを示した。

第IV章では、前述の形状記憶合金をデバイス材に用いたスタッドをタイヤに埋め込むことを試み、その利用特性についての検討を行った。試験方法は室内における二走行型のドラム試験機、並びに屋外における実車走行で、いずれも実用を目指した性能特性と耐久性について明らかにした。

第V章では、スタッドの有無によるタイヤの走行特性を明らかにする目的で、タイヤを固定して行う振動型荷重試験機により、この後室内で行うドラム型試験機による走行試験、並びに実車による屋外での走行試験を実施するための基礎的検討を行った。振動数で走行速度を想定し、振動数、温度、タイヤの変形量を変えることによってタイヤに加わる荷重を求め、タイヤの種類や空気圧の差によってその差があらわれることを明らかにした。

第VI章では、雪氷路タイヤの基盤的性能特性を把握するために、試験条件の設定が容易な室内式インサイドドラム型タイヤ試験機を設計し、これを試作した。その試験機特性上重要なタイヤ横シフトによる $\mu$ -S特性、およびコーナリング特性について検討し、本試験機でタイヤ性能を評価する場合の測定条件を明らかにした。

第VII章では、当所で開発した低公害スパイクタイヤを用いて、前述した室内試験機による性能評価を行い、さらに冬期間の実車走行試験によって耐久性及びその性能について明らかにした。その結果、試作したスパイクタイヤの特性から、低公害用としての一定の成果が得られた。

結論では、本研究のまとめとして各章の要旨を述べ本研究の成果と、今後の問題点を示した。

これらの結論から導びかれる本研究の成果は次のとおりである。

本研究の過程で技術開発し、試作した低公害型雪路用試験タイヤは、市販の雪路用タイヤに比べて耐久性ではまだ改良の必要性はあるが、制駆動効果については充分であり、さらに低公害性についても効果が認められた。

実用上の問題と今後の課題は表1に示すとおりである。従って、改良ピンを実用化するためには解決しなければならない問題がまだ多く残されていると言えるが、本研究の中で確立できた基礎技術と評価技術を応用して雪氷路面での摩擦係数がさらに高くなる素材と、その構造を有する複合材料の開発がなされ、タイヤのトレッド面の改良が促進されるなら、従来のスパイクタイヤに替る新しい低公害の雪氷路用タイヤの開発が達成できるものと考えられる。

表一 1 実用上の問題と今後の課題

問 題 点	課 題
○形状記憶合金を使ったピンの出し入れは、温度を一度設定したら自由に変えられない。	○使用環境に合わせて製造。 ○必要なバイヤス強度を得る。
○ピンの大きさをあまり小さくできない。	○タイヤのゴム質をあまり軟らかくできない。
○タイヤに発生する熱が必要。	○製造法の改良が必要。
○コストがまだ高い。	○実車走行試験等による検討が必要。
○改良ピンを使用する場合、耐久性の面で改善を要する。	

本研究を進めるにあたり、資料を提供いただいた日本自動車タイヤ協会、北海道開発庁土木試験所、並びに試料提供いただいた古河電工、東芝タンガロイ、また実車走行試験で協力いただいた日本自動車研究所、暁交通 K. K. の関係各位には心から感謝の意を表します。

# Reducing Environmental Pollution and Road Damage Due to Studded Tire (FY 1985~1987)

Totaro GOTO, Yoshikazu SUZUKI,  
Eizo HIROKI and Hiroshi KUBOTA

Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido.  
Agency of Industrial Science and Technology.  
Ministry of International Trade and Industry.

In cold snowy areas, such as Hokkaido and Tohoku districts, studded tires are used in order to ensure traffic safety during winter. These tires severely erode the pavement, causing serious damage to roads, and heavy dust pollution, creating a serious environmental problem. To solve this problem, the authors have developed a new type of studded tire for low dust pollution by utilizing a shape-memory alloy and composite materials : metal-ceramics-rubber.

In 1985~1986, the following was investigated in the development ; (1) addition of a new functional, active-control mechanism with shape-memory alloy to the tires, and (2) production of a stud tip material suitable for low dust pollution.

In 1987, characteristic analysis of tires and studs on frozen road was done by laboratory and outdoor testing ; (1) an attempt was made to increase durability of the base metal by dispersing fine ceramic powder in the composite studs, and (2) three kinds of tires were prepared to test their effectiveness in lowering the production of dust from pavement : A-tire, with iron-ceramic composite studs, B-tire, with active controlled studs made of shape-memory alloy, and C-tire, with cushions created by cutting the tread around the studs, and (3) the characteristics of the above tires were evaluated with an indoor test equipment and a car driven on an outdoor test course during winter.

This report consists of an introduction, seven chapters and a conclusion. The introduction includes a background and circumstances of the study, and an abstract of the report.

In the first chapter, the authors showed the fundamental behavior of studded tires, because the social problem of dust pollution had been caused by using of studded tires. The effect on the pollution due to the age of the tire was investigated, comparing the dust produced by new, unused commercial studded tires with that of tires driven on for about 20,000km. It was found that the force of the studs on the road increased with use due to erosion of the rubber because of wearing the studded tire by running. The fact was shown by the relationship between compression strength of a tire and deformation of the rubber, for tires both with and without studs.

In the second chapter, it was demonstrated that safety could be kept and dust pollution could be reduced by finding a new material having properties of softness and high friction instead of a tip material of commercial studs. It was reported that a composite material was made by dispersing ceramic particles in an iron matrix. Durability of the material was increased by carburized treatment, and addition of fine oxide particles.

In the third chapter, suitability of shape-memory alloy for use as device of a stud was shown by testing a stud which extruded or retracted from the surface of the tire under different temperatures. The durability of Ti—Ni alloy, under recyclic heating, was found to be satisfactory for practical use.

In the fourth chapter, it was tried to apply shape-memory alloy to studded tires as device material of a stud, and show characteristics of the studded tire using Ti—Ni alloy. The test was carried out with a tire testing machine of a pair of ice and dry roads, and a testing car.

The fifth chapter reported the pre-research of the characteristics of tires with and without studs, before and after use. The information was obtained with a vibrating load apparatus, since the results were needed preliminarily for testing with a drum type test machine and a car. In the test, running speed was estimated from the vibration rate of the apparatus. The stress on the tires of different manufactures and at different air pressure were determined by changing vibration rate, temperature and deformation of the tire.

The sixth chapter reported the investigation of an inside-drum type tire test machine which was used to measure an fundamental behavior of tires. It became clear that some adequate conditions should be held for testing of tires: slip angle, speed of the angle change and shifting of a tire in a drum for cornering force of a tire.

The last chapter recounted the preparation and examination of low dust pollution tires. Its performance tests were compared with those of commercial studded tires and studless tires using an inside-drum type tire testing machine and a testing car with these tires on outdoor ice and snow covered courses. It was found that the friction resistance of studded tires were larger than that of studless tires during locking or starting on the surface of melted snow or thawing ice road.

Conclusions obtained from the report were as follows; (1) composite materials were produced by dispersion of ceramics:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{MgO}$ , coal ash and magnetite ore, in an iron base tips of studs. They were found to be effective for low dust pollution because they were softer than the commercial material, and (2) hardness and durability of tip material became larger with heat treatment after carburizing, because the ceramic particles were set more tightly in the hard iron matrix, and (3) it was confirmed that the stud extruded properly under low temperature conditions and retracted under high temperature conditions, and (4) the transformation( $M_s$ ) temperature of a shape-memory Ti-Ni alloy, which was heat-treated at  $520^\circ\text{C}$ , approached  $10^\circ\text{C}$ , making it usable for many real conditions, and (5) it was shown that evaluation tests, using an indoor test machine along with outdoor road testing, were adequate for measuring the total properties of a snow tire, and (6) the evaluation program showed that the specially prepared tires had stopping and traction capabilities roughly equivalent to commercial studded tires' behavior on iced roads and were estimated to produce lower dust pollution on paved roads by impact mitigation. However, there remains room for improvement in the durability of the stud materials.

---

北海道工業開発試験所報告

第 48 号

平成元年 3 月 25 日 印刷

平成元年 3 月 25 日 発行

発行所 工業技術院北海道工業開発試験所

札幌市豊平区月寒東 2 条 17 丁目 2 番 1 号

電話 011 (851) 0 4 5 1

正文舎印刷株式会社

札幌市白石区菊水 2 条 1 丁目

電話 011 (811) 7 1 5 1

---

**REPORTS OF  
THE GOVERNMENT INDUSTRIAL DEVELOPMENT  
LABORATORY, HOKKAIDO**

No. 48 March 1989

---

Reducing Environmental Pollution and Road  
Damage Due to Studded Tire

Totaro GOTO

Yoshikazu SUZUKI

Eizo HIROKI

Hiroshi KUBOTA

---

Published by

The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido  
2-jo 17-Chome, Tsukisamu-Higashi, Toyohira-ku, Sapporo, Japan