

南極大型雪上車 (SM100S) の開発

IV. ゴム履帯の低温特性

前川悦治¹・寺山義英²

A Newly Developed Snow Vehicle (SM100S) for Antarctica

IV. Low Temperature Properties of Crawler Belt

Etsuji MAEKAWA¹ and Yoshihide TERAYAMA²

Abstract: In order to discover a high cold-resistance material for use in the crawler belt of snow vehicles, the physical properties at very low temperatures of a recently developed material, isoprene/butadiene (70/30) random copolymer filled with carbon black, was investigated in comparison with a blended rubber NR/BR (65/35) as well as a currently used NR. It has been found that this material can keep rubber elasticity even at low temperatures below -70°C , though it is somewhat inferior to the other two materials as to strengths such as stress-at-break and tear; and hence, it is considered as quite worthy of a practical test under equipped for a snow vehicle in the Antarctic area.

要旨: 耐超低温特性の観点から、最近開発されたイソプレン・ブタジエン共重合体の雪上車用履帯ゴムとしての実用の可否を現行の天然ゴムのみの系と天然ゴム／ブタジエンゴムのブレンド系との比較において検討した。その結果、強度的にはこれら二者より劣るが、 -70°C においても十分なゴム弾性を保持しており、実用試験をしてみる価値があることがわかった。

1. はじめに

東クイーンモードランド高原域最高部のドーム F で、深層掘削をするために使用する雪上車には、従来にない超低温特性が要求される。雪上車を運用するドーム F の環境条件は、これまで開発した雪上車の使用環境条件と比較して苛酷である。すなわち、ドーム F の位置は 77°S , 40°E 付近で、推定標高 3800 m, 推定平均温度 -58°C 及び推定最低気温 -88°C である。

このような超低温環境条件は雪上車を構成する各種材料に影響を及ぼし、ゴム材料を多用している雪上車の中でもとりわけゴム履帯は、絶えず環境温度にさらされると共に運用上の作用外力も大きく、その動的使用条件は苛酷なことが予想される。したがってこのゴム履帯

¹ バンドー化学(株)中央研究所. Central Research Laboratory, Bando Chemical Industries Ltd., 1-6, Ashiharadori 3-chome, Hyogo-ku, Kobe 652.

² バンドー化学(株)第一事業部コンベアベルト技術製造部. Conveyor Belt Division, Bando Chemical Industries Ltd., Tsuchiyama, Hiraoka-cho, Kakogawa 675-01.

に用いるゴムとして、上述の極低温下においてもゴム弾性を維持し、低温脆性に優れたゴム材料の開発が、雪上車を開発する上で重要な課題の一つとなる。

ゴム材料が外力に応じて素早く変形し、ゴムらしい物性を示すためには、分子鎖のセグメントが十分に運動（ミクロブラウン運動）していなければならない。このミクロブラウン運動を開始する温度がガラス転移温度 (T_g) と考えられており、低温特性を判断する一つの目安となる。すなわち T_g が低ければ低いほど、より低温でゴムらしさ（ゴム弾性）が維持されることになる。低温でのゴム物性の問題は、温度の低下と共にゴム弾性も減少（ミクロブラウン運動が不活発になる）し、ある温度で遂にゴム弾性が無くなる（ミクロブラウン運動が凍結される）ところにある。見方を変えれば、 T_g はゴム弾性が消失する温度ともいえる。

ゴムの T_g はその種類によって異なるが、一般にマイナス数十 $^{\circ}\text{C}$ にある。例えば、従来の雪上車のゴム履帯、タイヤやベルト等に大量に使用される汎用ゴムの天然ゴム (NR)、スチレンブタジエンゴム (SBR) の T_g はおよそ -50°C ~ -70°C の範囲にある (西, 1980) ので、ドーム F の環境における極低温域ではこれらのゴムは弾性が無くなってガラス状態になる。従って、この温度域では本質的にゴム履帯の要求性能には対応できない。一方、ポリブタジエンゴム (BR) や一部の特殊ゴムには T_g が -100°C あるいはそれ以下のものもあるが、強度が小さいのでそれらは単独で用いられることはほとんどなく、要求性能に合わせて他のゴムとブレンドして用いられるのが一般的である。

そこで、先ず NR/BR ブレンド系の配合で耐寒性の対応限界を見いだすべく実験を行い、次に最近日本合成ゴム (株) で開発された (日本合成ゴム, 1988) T_g が約 -80°C にある新しいゴム (イソプレン (IP)/ブタジエン (BD)=70/30 の共重合体) についても検討したので、それらの結果について報告する。

2. 実 験

2.1. 試 料

原料ゴムとして NR は RSS #3 を素練りしたもの、BR は日本合成ゴム社製 BR01 及び新しく開発されたゴム T704 を用いた。表 1 に配合処方を示す。ここで NR/BR=65/35 のブレンド系を T-01、IP/BD=70/30 の共重合系 (T704) を T-02 と試料名を付した。ただし表 1 は比較検討試料の最終配合処方であり、T-01 を決定するには以下に述べる実験計画法を用いた。

今、二つの変数 x, y があって、それぞれの変数の変化に伴って、観測値 z が決まるような系では、有限個 (6~8 個) の特定の (x, y) の組み合わせによる実験で、容易に系全体の挙動を掴む (z と x, y の関数関係より等高線図を作る) ことができる。その代表的なものとして z が x, y の二次式で表されると仮定した場合、ペンタゴンあるいはヘキサゴン計画を基にした二つの方法がある。これらの方法は、数種の原料からなる複合体の物性 z (ここでは耐

表 1 各試料の配合処方 単位 (PHR)*
Table 1. Compounding recipe for each sample.

試料名	T-02	T-01	現行
NR(RSS # 3)	—	65	100
BR01	—	35	—
T704	100	—	—
カーボンブラック ISAF	—	40	40
カーボンブラック HAF	55	—	—
可塑剤 DOA	11	11	—
酸化亜鉛	5	} 同	} 同
ステアリン酸	2		
パラフィン	1.5		
老化防止剤 3C	1.5		
老化防止剤 224	1		
加硫促進剤 CZ	1	} 左	} 左
硫 黄	2.8		

* PHR: Per Hundred Rubber (ゴム 100 部あたり)

寒性) を最大にしたい場合, まず直行配列実験等によって二つの重要因子 x, y (ここでは BR, 耐寒性可塑剤 DOA) に絞り込み, 次いで最大の z を得るための変数 x, y の水準を見出す時に, データの収集や系全体の挙動把握の点で効率的なものとなる. ここでは BR 量 (z): 7~41 PHR, DOA 量 (y): 0~11 PHR と変数し, 図 1 に示すペンタゴン計画により実験を行った. 変数因子以外の配合剤の量は表 1 に示した T-01 のそれと同じである.

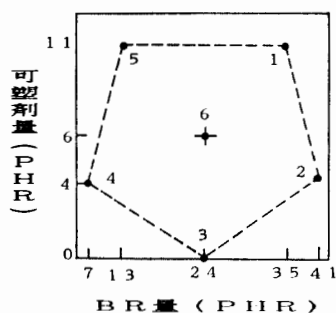


図 1 ペンタゴン計画
Fig. 1. Pentagon design.

上記配合処方により加硫系 (促進剤, 硫黄) を除いては試験用バンバリー型ミキサー (内容積 1.46L) を用いて混練し, 加硫系は 10 インチロールを用いて表面温度 50°C で添加した. こうして得た配合物の最適加硫条件をそれぞれモンサントレオメーター ODR-100S 型で決定し, その条件でプレス加硫をして厚さ 1 mm と 2 mm の 2 種類の加硫シートを作成した.

また, 現行ゴム履帯に用いられて実績のあるナイロン製帆布を心体に, 表 1 に示す配合ゴムをカバーゴムとして 3 種の走行試験用ゴム履帯 (幅 250 mm, 長さ 600 mm, 厚さ 11.5 mm, 心体 5 ply, カバーゴム 上下各 2 mm) を試作した.

2.2. 試 験

加硫ゴム試験は 2.1 章で作成した加硫ゴムシートを用いて、主として JIS K6301 に準拠して行った。また、岩本製作所製粘弾性スペクトロメーターを用いて振動数 10 Hz、温度範囲 $-150\sim 50^{\circ}\text{C}$ の範囲で粘弾性の温度分散を測定した。

ゴム履帯は適当な大きさにカットして 180° 近く曲げて末端をひもで縛って固定し、低温槽中に放置後、 -50°C (1 hr)、 -60°C (15 hr)、 -70°C (24 hr) 及び -80°C (17 hr) の各温度で取り出して逆に曲げたときの現象を定性的に観察した。ここで括弧内は放置時間である。

この低温放置試験前後のゴム履帯のカバーゴムからサンプリングし、ゴム物性に変化はないかどうかを調べた。試験は上記加硫ゴムシートの場合と同様 JIS K6301 に、また心体の接着試験は JIS K6322 に準拠して行った。

3. 結果と考察

3.1. NR/BR ブレンド系のペンタゴン実験結果

変数 x, y と観測値 z との間に明白な関数を与えられる場合は少なく、多くの場合、ある限られた (x, y) の変量域では数式モデルとして次式が用いられる。

$$z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy, \quad (1)$$

ここで a : 定数項, b, c : 一次の係数, d, e : 二次の係数, f : 相互作用係数である。式 (1) により、実験点数 n が少なくとも推定係数の個数 6 以上あれば、どんな実験点の組み合わせでも係数の推定は数学的に可能である。従って、ここでは汎用性、推定精度、計算効率等から考えて最少の実験点数 6 個でよいペンタゴン計画を用いた。実験点の決定、式 (1) の係数及び等高線図の計算等、すべてパーソナルコンピュータで実行できる。

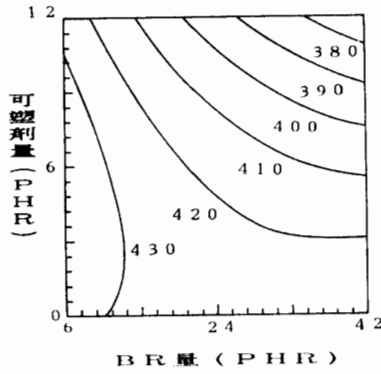
以上のようにして求めたブレンド系の耐寒特性の指標となる物性の等高線図を図 2 に示す。これらの等高線図の傾向から各物性値が BR と可塑剤の二つの変量因子によってどのように変わるか、ということがわかる。例えば、b) の -50°C での破断伸び E_b は BR 量よりも可塑剤量による変化が大きく、逆に c) の脆化温度は BR 量に支配され、e) の見掛けねじりモジュラス 1000 kgf/cm^2 になる温度のように、等高線がほぼ 45° の傾きを示す場合は、BR 量と可塑剤量の両因子に同等に支配されることがわかる。このように、これらの等高線図から両因子の変量に伴う各物性値の全体の挙動を把握することができる。

以上の結果から硬さが現行配合系に最も近く、かつ低温特性が最も優れているブレンド系として選んだのが表 1 に示した T-01 である。

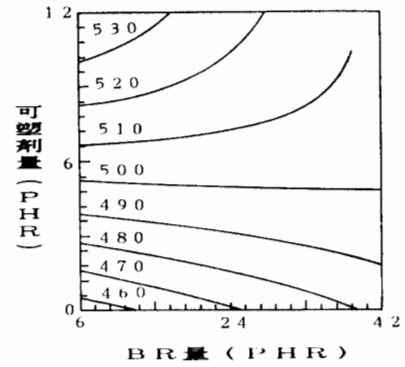
3.2. 表 1 の各試料の実験結果

3.2.1. 力学特性

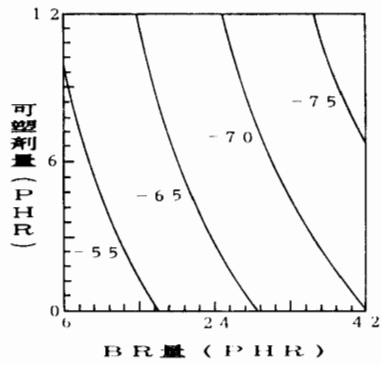
表 1 の各試料の加硫ゴムの試験結果を表 2 に示す。表 2 の引っ張り特性 (室温) に見ら



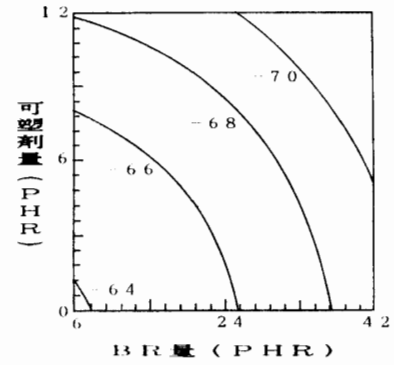
a) -50°C での破断強度
a) *Stress-at-break at -50°C .*



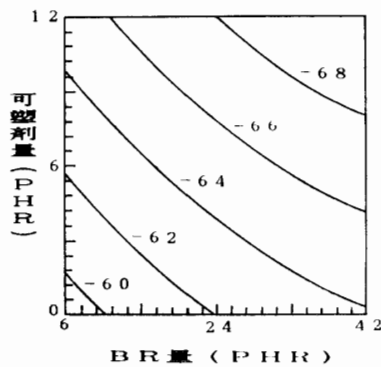
b) -50°C での破断伸び
b) *Strain-at-break at -50°C .*



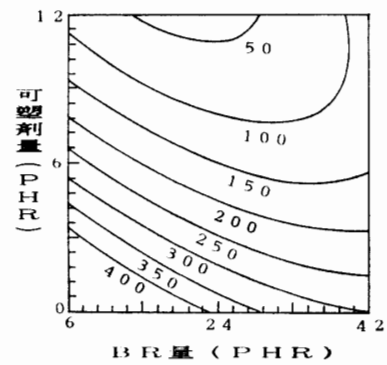
c) 衝撃脆化温度
c) *Impact brittleness temperature.*



d) 室温での見かけねじりモジュラスが100倍の温度
d) *Temperature of apparent modulus ratio which is 100 times it at room temperature in Gehman torsion test.*



e) 見かけねじりモジュラス 1000 kgf/cm^2 の温度
e) *Temperature of apparent modulus 1000 kgf/cm^2 in Gehman torsion test.*



f) -60°C での見かけねじりモジュラス
f) *Apparent modulus at -60°C in Gehman torsion test.*

図 2 BR 及び可塑剤の量を因子とした低温物性の等高線図
Fig. 2. *Contours of BR and plasticizer contents as functions for several physical properties at low temperature.*

表 2 加硫ゴム特性
Table 2. Physical properties of cured samples of Table 1.

	単 位	T-02	T-01	現行配合
1) 引張り特性 (R.T.)				
M_{100}	kgf/cm ²	24.6	21	25
M_{300}	kgf/cm ²	96.1	90	110
T_B	kgf/cm ²	167.5	243	300
E_B	%	501.6	568	600
H_S	JIS-A	60	58	60
2) 低温衝撃脆化試験				
脆化温度	°C	-70 以下	-70 以下	-56
3) ゲーマンねじり試験				
T_2	°C	-59.9	-54.3	—
T_3	°C	-69.4	-60.9	—
T_{10}	°C	-70 以下	-64.0	—
T_{100}	°C	-70 以下	-70 以下	-65
-60°C での見かけモジュラス	kgf/cm ²	40.5	75	210
4) 粘弾性				
$\tan \delta$ ピーク温度	°C	-61	-52, -85	—

れるように、T-02 の引っ張り強度 (T_B) はかなり小さい。一般に NR と合成ゴム (SR) は分子特性的にみていろいろな点で差があり、中でも分子量 (MW) 及びその分布 (MWD)、結晶化の点で顕著である。すなわち元来 NR のほうが MW が大きく MWD も広く、素練りによって分子切断が生じるが、それでもなお相対的に MW, MWD は SR よりも大で、さらにカーボンブラックとの相互作用が大きく、これらが NR の強度を大にする要因となっている。しかし T_B における顕著な差は NR の結晶性に由来する。すなわち、図 3 の応力～歪曲線に見られるように NR 系の (T-01) 曲線は破断に近づくとき急激に応力が大きくなり立ち上がる。これは NR の伸長結晶 (または配向結晶) によるものといわれている (STRATE, 1978)。T-01 は BR がブレンドされており、このブレンドにより NR 部の伸長結晶化が阻

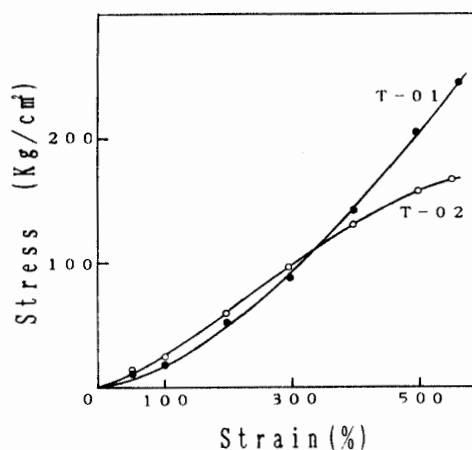


図 3 T-01 と T-02 の応力～歪み曲線
Fig. 3. Stress-strain curves of T-01 and T-02 samples.

害されるが、それでも NR のブレンド比 65% と過半数を占めるので、ここでの T_B の差はこの NR 部の伸長結晶化に帰されるであろう。しかし、T-02 の強度がこの程度では問題があって使用不可とは即断できない。というのは、ゴム履帯のカバーゴムとして NR が用いられていたため、結果として高い強度が得られていたもので、本来ゴム履帯の要求水準が明確ではなかったからである。過去において乗用車タイヤが NR から SR に置き替わり T_B がこの程度に落ちて問題が生じなかったという実例もある。

3.2.2 低温特性

低温性を重視していることから、本特性については表 2 に示した 2) 低温衝撃脆化と 3) ゲーマンねじりの 2 種の試験を行った。

2) は一定の線速度 (1.8~2.1 m/s) で動くハンマーでゴム試験片に衝撃を与え、5% 破壊の温度を求めて脆化点とする試験法である。表のように、この結果によると、NR のみの現行配合試料が低温性に劣ることがわかるが、T-01 と T-02 間では差がみられない。そこで次にこれらの間に差がみられるかどうかを調べるためにゲーマンねじり試験を行った。

3) はねじれ角~温度曲線と室温 ($23\pm 2^\circ\text{C}$) のねじれ角の比から見かけの比モジュラスを求め、それが 2, 5, 10, 100 になる温度を $T_2, T_5, T_{10}, T_{100}$ として表され、耐寒性の指標となる。すなわち T_2 を示す温度付近までは、室温時のモジュラスを維持しゴム状弾性体と見なすことができるので、この値が低ければ耐寒性がよいことを意味する。 T_5, T_{10} の温度付近はわずかの温度範囲で剛性が著しく変化する転移域 (皮革状態) であり、 T_{100} では硬化が著しく見かけの凍結温度と見なされる。これらを指標にすると $T_2\sim T_{10}$ では明らかに T-01 と T-02 の間には差があり、T-02 の方がより低温を示して耐寒性の良いことがわかる。最後に、一定温度 -60°C での見かけモジュラスを示すが、この値が小さいほどゴム状に近いことを示し、この値からも T-02 は -60°C でゴム状弾性を保持しているといつてよいであろう。

なお、2), 3) とともに冷媒はドライアイス-メタノール系で -70°C までしか測定できないので、測定点がそれ以下にある場合は正確な温度表示ができず、 -70°C 以下とした。

3.2.3. 粘弾性

線形粘弾性現象論によれば、粘弾性体に正弦歪みを与えると定常状態において正弦応力を生ずる。この応力はベクトル的に二成分に分けることができ、一成分は歪みと同一位相を、他の一成分はこれと 90° ずれた位相を持つ。従って応力と歪みの比、すなわち弾性率は次のように複素数で表される。

$$E^* = E' + E'', \quad (2)$$

ここに実数部 E' は歪みと同一位相をもち貯蔵弾性率、虚数部 E'' はこれと 90° ずれた位相をもち損失弾性率と呼ばれる。一定周波数の動的測定ではこれらの二つの量が独立に得られる。本測定に用いた装置は強制振動装置で、直接得られる値は複素弾性率の絶対値 $|E^*|$ 及び

位相角（力学的損失角） δ であるから E^* の各成分は次のような関係になる。

$$E' = |E^*| \cos \delta, \quad (3)$$

$$E'' = |E^*| \sin \delta, \quad (4)$$

従って

$$\tan \delta = E''/E'. \quad (5)$$

図 4 に T-01 及び T-02 の粘弾性測定より求めた貯蔵弾性率 E' と損失正接 $\tan \delta$ の温度分散を示す。また、この図の $\tan \delta$ ピークの値を示す温度を表 2 の最終欄に示した。

無定形高分子の E' は、一般に次のような特徴的な温度及び周波数依存性を示すことが知られている (FERRY, 1980)。すなわち低温（または高周波）域では 10^{10} (dyne/cm²) オーダーの弾性率を持つガラス状であり、温度の上昇（周波数の低下）につれて、 $10^6 \sim 10^7$ (dyne/cm²) の領域までかなり急速に弾性率が落ちる転移域を経てゴム状域に入る。そこで分子量に依存したゴム状平坦域（未加硫ゴムでは 10^6 オーダー、加硫ゴムでは 10^7 オーダー）を生じる。 $\tan \delta$ は転移域では値が 1 に近い極大を持ち、これより低温のガラス状域での値は 0.01 に近く、高温域ではかなり大きな値を持つ。T-02 のようにイソプレンとブタジエンのランダム共重合系は単一物とみなされ、図 4 に見られるように上述の一般的特性を持っているようである。

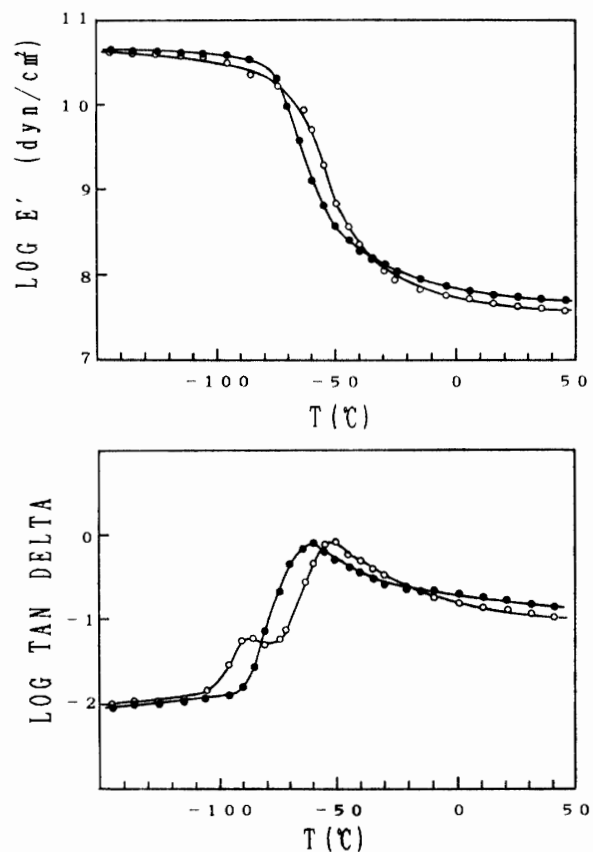


図 4 T-01 と T-02 の貯蔵弾性率 E' と損失正接 $\tan \delta$ の温度依存性

Fig. 4. Temperature dependence of storage modulus E' and loss tangent $\tan \delta$ for samples T-01 and T-02.

T-01 のような異種ゴムの機械的ブレンド物は、たいていの場合分子状に混ざらず不均一混合系である。このような系では、未加硫物はそれぞれに反応する温度での力学分散のみを示すのに対して、加硫物はブレンド比に応じた別の位置に新しい力学分散 (E' で転移, $\tan \delta$ では極大) を示すことが知られており (BAUER and DUDLEY, 1977), 分散を示す温度は T_g に対応する。

図 4 のように、T-02 では -61°C に、T-01 では -85°C 及び -52°C 付近に BR 及び NR に起因する分散が、それぞれに見られる。ただ BR はブレンド比が約 1/3 であること、他成分との相互作用などによってその分散の程度はかなり小さい。この分散を示す温度がこれら試料の T_g であり、T-01 のように不均一ブレンド系では二つの T_g を持つことになる。図の形からみてもブレンド比の大きい NR の T_g が主として支配することがわかるが、ブレンドした BR も微妙に影響する。 T_g は、また、分子のミクロブラウン運動の開始点であり、可塑剤などの混合により分子運動がしやすくなれば T_g は低くなりカーボンブラック混合や加硫によって分子運動が束縛されれば T_g は高くなる。T-01 及び T-02 の原料ゴムの T_g は分子運動が束縛されていないので上記 T_g よりも十数度低いところにある。しかし、一般に未加硫ゴムとの T_g の差は同一の測定では数度程度であり (椎橋 透: 私信), 十数度というのは過大である。今のところこの原因については不明であるが、いずれにしても T-02 がかなり低温までゴムらしさを保持しているといえる。従って、ここで求められた T_g は、見かけのもので参考値として考えるべきであろう。

3.2.4. ゴム履帯の低温放置試験

表 3 にゴム履帯の低温放置試験結果を示す。同表には参考までに現行中型雪上車に用いられているファンベルトの結果も併せて示した。この結果から直ちに、T-02 を用いた履帯が最も低温性の良いことがわかる。前述の粘弾性から求めた T_g が見かけの値であるにせよ原料ゴムの T_g が -80°C 付近であるので、ガラス状に近い状態にかかわらず、クラックも入らないというのは驚異的である。放置後 17 時間経過しており温度平衡に達していることは

表 3 ゴム履帯低温放置試験結果
Table 3. Sensuous test results of crawler belts which were left in the special freezer for a few decade hours at the fixed temperature.

試験体	-50°C	-60°C	-70°C	-80°C
ファンベルト	1時間で曲げたら破損した			
T-02 履帯	反対に曲げられる	硬いが反対に曲げられる	硬いが曲がる	やっと曲げられる, メリメリと音がする
T-01 履帯	同上	同上	やっと曲げられる, メリメリと音がする	17時間後破損
現行品履帯	変形残る, 硬い, 1時間以降同じ	15時間後に反対に曲げるのに力がある	24時間後折り曲げられない	同上

確かであり、現段階で、このような低温でゴムらしさを保つ理由は不明である。時間的制約もあって、詳細は追求できなかったが今後の興味ある課題である。

ファンベルトの場合は、使用されている原料ゴム（クロロプレン）の T_g が -45°C であることから、 -50°C の試験で破損するのは当然として理解できる。

表3で破損というのはあくまで、カバーゴムの割れであって、どの温度でも心体には異常

表4 履帯ゴムカバーの表3に示した低温放置試験前後の物性
Table 4. Physical properties for covering rubber of crawler belts before and after the test of Table 3.

項 目	単 位	T-02	低 温 試験後	T-01	低 温 試験後	現 行 配 合	低 温 試験後
1. 張り特性 (室温)							
オリジナル							
引張り強さ	kgf/cm ²	171	162	265	249	306	292
伸 び	%	440	420	570	540	630	600
300% モジュラス	kgf/cm ²	114	117	95	101	88	90
70°C×168 時間 老化後							
引張り強さ	kgf/cm ²	160	157	227	215	304	290
引張り強さの変化率	%	-6.4	-3.1	-14.3	-13.7	-0.7	-0.7
伸 び	%	350	360	470	420	570	570
伸 びの変化率	%	-20.5	-14.3	-17.5	-22.2	-9.5	-5.0
300% モジュラス	kgf/cm ²	140	134	125	115	122	101
2. 硬 さ							
オリジナル							
	JIS-A	60	61	58	58	58	57
70°C×168 時間 老化後							
	JIS-A	66	66	62	63	64	62
3. 引裂き力 (JIS-A)							
	kgf/cm ²	48	44	75	68	153	130
4. 接着力							
常 温 カバーゴム～帆布							
	kgf/25 mm	17～18	17～18	15～17	16～17	15～18	15～18
帆布～帆布							
	kgf/25 mm	27～32	25～31	27～32	24～31	27～32	27～32
-45°C カバーゴム～帆布							
	kgf/25 mm	26～28	—	29～31	—	31～33	—
帆布～帆布							
	kgf/25 mm	34～36	—	34～36	—	34～36	—
5. 耐寒試験							
a) ゲーマン低温ねじり試験							
T_2	°C	-62.0	—	-51.2	—	-47.4	—
T_5	°C	-70以下	—	-62.8	—	-55.4	—
T_{10}	°C	-70以下	—	-66.1	—	-59.2	—
T_{100}	°C	-70以下	—	-70以下	—	-66.2	—
-60°Cでの見かけモジュラス	kgf/cm ²	49	—	72	—	204	—
b) 脆化温度							
	°C	-70以下	—	-70以下	—	-56.5	—
6. オゾン劣化試験							
50 ppm×40°C×168 時間	亀裂有無の 確認	亀 裂	—	亀裂なし	—	亀裂なし	—
20% 伸度							

なく、破損しなかった。また、割れが生じていない部分でゴムと心体との剥離も見られなかった。ここで、以下心体についての調査結果を述べる。

繊維は結晶性であるため T_g はゴムよりかなり高温である。例えば、ナイロンは種類によるが約 $40\sim 60^\circ\text{C}$ の範囲、ポリエステルは 70°C 前後、アラミド繊維は約 300°C である。従って繊維の T_g はゴムの場合と異なって耐寒性の指標とならない。繊維では耐寒性の指標としてタフネス (=強度 \times 伸度) が用いられ、この値が低温になるにつれ小さくなり、ある温度で反転して大きくなる。この温度が屈曲あるいは衝撃の物性を考慮した場合の耐寒限界といわれる (川口, 1961)。その限界付近温度で伸びはほぼ一定になって変化しなくなる。これは材質が何らかの変化を受け温度を戻しても元の状態に回復しないといわれている。しかし、このような低温での研究はほとんど行われていないので、これが一般性のあるものかどうかは現時点ではわからない。

表4に試作ゴム履帯の表3に示した低温放置試験後のカバーゴムからサンプリングした試験片を用いて試験した結果とゴム～帆布、帆布～帆布間の接着試験の結果を示す。これらの結果から次のことがいえよう。まず、試験前後の各物性値が実験誤差の範囲でよい一致を示すことから、 -80°C までかなり長時間低温に放置した後でも、室温に戻せばゴムは何ら変化せず、もとの状態に回復する。次に、表2の対応するデータとの比較においてもほぼ良い一致がみられ、配合の再現性には問題がないといえる。引き裂き強さは T-02 が最も小さく表2の引っ張り温度において考察したことがそのまま当てはまるので、ここでそれ以上はふれない。最後に接着力についても、ゴム～帆布、帆布～帆布間のそれは十分であり、前述の低温試験ではほぼ 180° 逆に曲げたときでも、各層間ではく離が生じなかったことから、異常なしとして良いであろう。

4. 結 び

以上のように、T-02 は最も低温性に優れ、少なくとも -70°C においても十分ゴム弾性を保持している。ただ強度的にはここで比較検討した他の二者よりは劣るが、考察で述べたように、ゴム履帯として最低限必要な強度の要求水準が明確でない以上、耐超低温性という点からすれば実用走行試験を試してみる価値はあると思われる。

謝 辞

本報告をまとめるに際し、防衛庁技術研究所 (現コア総合技術研究所) 喜納淳氏には貴重なご意見をいただいた上、図の作成に当たっても大変お世話になった。ここに記して厚くお礼を申し上げる。また、低温放置試験をしていただいた国立極地研究所観測協力室石沢賢二氏、T-01 及び T-02 の実験遂行にあたったバンドー化学 (株) の井上貞夫及び浜野直樹の各氏に深甚の謝意を表す。

文 献

- BAUER, R. F. and DUDLEY, E. A. (1977): Compatibilization of rubber blends through phase interaction. *Rubber Chem. Tech.*, **50**, 35-45.
- FERRY, J. D. (1980): *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3rd ed. New York, J. Wiley, 33-47.
- 川口達郎 (1961): 結晶性高分子の引張り性質に対する伸長速度と温度の影響. *高分子化学*, **18**, 411-414.
- 日本合成ゴム(株) (1988): 技術資料.
- 西 敏夫 (1980): ガラス転移点及び隔点. *ゴム試験法*, 日本ゴム協会編初版, 東京, 17-24.
- STRATE, G. V. (1978): Structure characterization in the science and technology of elastomers. *Science and Technology of Rubber*, ed. by F. R. EIRICH. 1st ed. New York, Academic Press, 122-126.

(1992年7月7日受付; 1992年7月31日改訂稿受理)