

陸上輸送用炭素系ブレーキ 中間成形体の開発

(炭素系ブレーキ材料グループ) 早田喜穂, 小林孝至, 内田大介

1. 試験研究の内容

1.1 研究開発の目的

省エネルギーおよび環境保護のために、車両に対しては燃料消費量および排出ガス量の低減が求められている。これを原動機の改良により達成する試みとしては、例えばセラミックガスタービンがある。さらに、原動機以外でもすべての部材に共通して求められているのは軽量化である。一方、我国の経済を維持発展させるためには、車両の高速化というニーズは従来どおりであり、この観点からも軽量化は極めて重要である。

車両を停止させるための制動部材に目を転じると、当然軽量化は求められており、かつ高速化に対応するためには耐熱性が要求される。これらの両者を満足する制動部材として、炭素系ブレーキがあり、欧米の航空機ではすでに実績がある。密度は $1.5 \sim 1.8\text{g/cm}^3$ 程度であり金属の $1/4$ 、また耐熱性は 2000 以上であり、金属と 1000 近い差がある。

この炭素系ブレーキを陸上の車両にも普及させることが出来れば、省エネルギー、環境保護の観点から極めて好ましい。欧州では車両への炭素系ブレーキ適用が検討されているが、性能と生産性とのバランスが普及のための必須条件となっている。

本研究開発では、高性能で生産性の高い陸上輸送用系ブレーキにつき、中間成形体を製造するため図1に示すプロセスを確立する。炭素系ブレーキを製造した時に達成される性能として、摩耗量が少なく、かつ低速から高速まで安定した摩擦係数を有することを目的とする。

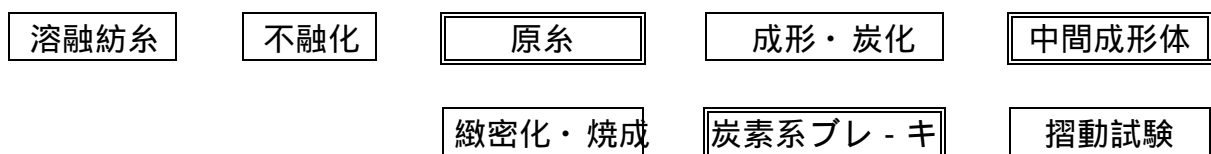


図1 中間成形体を製造するためのプロセス

1.2 全体計画

(1)中間成形体用原系の開発

重質油より得られたピッチを用いて溶融紡糸を行い、これを不融化処理して中間成形体用原系とする。原系製造条件と中間成形体の成形性およびブレ - キ試験後の性能との関係を把握する。

(2)中間成形体製造技術の開発

原系を成形・炭化し、ブレ - キ形状の中間成形体とする。成形結果を原系製造条件にフィ - ドバックしつつ、成形条件を確立する。

(3)中間成形体の評価

中間成形体の緻密化・焼成処理を行い、機械加工を行った後に各種性能を把握して、これを中間成形体製造条件にフィ - ドバックする。今年度は緻密化品の熱物性、機械特性およびブレ - キ特性を評価した。

2. 試験研究の結果と解析

2.1 中間成形体原系の開発

これまでの研究開発において、紡糸した繊維の不融化時の重量増加に着目し、不融化後の重量増加が8.9～9.1%(条件A)および9.1～9.5%(条件B)となるように条件を設定した。これらの繊維を炭化・黒鉛化したところ。条件Aおよび条件Bのいずれにおいても、繊維の弾性率および強度に大きな差は見られなかった。また、表1に示すように、前記AおよびBの原系を用いて成形性を評価した結果、成形性に大きな差はなく、いずれにおいても図2に示すような良好な中間成形体が得られることがわかった。

表1 不融化条件の検討

不融化		成形・炭化(1000)			
条件	重量増加 %	収率 %	Vf %	かさ密度 $\times 10^3\text{kg/m}^3$	成形性
A	8.9～9.1	85～86	35～39	0.60～0.70	良好
B	9.1～9.5	84～85	35～39	0.60～0.70	良好

図2 中間成形体の外観

以上の結果より、本年度の研究開発においては条件Aにて不融化を行い、これを原系とした。

2.2 中間成形体製造技術の開発

これまでの研究開発において、重量増加が条件Aで不融化した原系を用いて、100～600（条件）、600～800（条件）および800～1000（条件）の各種条件下で成形・炭化を行い、中間成形体の性状を評価した。表2に示すように、条件では良好な成形体が得られた。

表2 成形・炭化条件の検討

不融化		成形・炭化					
条件	重量増加 %	条件	中間成形体の性状				
			収率 %	Vf %	かさ密度 $\times 10^3 \text{kg/m}^3$	成形性	
A	8.9～9.1	100～600	85.7	37.0	0.65	良好	
		600～800	84.6	35.4	0.62	不良	
		800～1000	85.7	32.5	0.57	不良	

以上の結果より、本年度の研究開発においては前記原系を用いて条件にて成形を行い、中間成形体とした。

2.3 中間成形体の評価

中間成形体を図3に示すピッチ含浸/炭化により緻密化し、かさ密度約 $1.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ として評価した。緻密化の状況を図4に示す。評価項目は、(1)緻密化品の熱物性、(2)緻密化品の機械的特性、および(3)緻密化品のブレ-キ特性である。

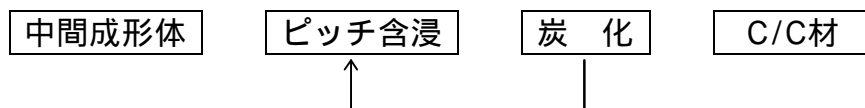


図3 ピッチ含浸/炭化による緻密化

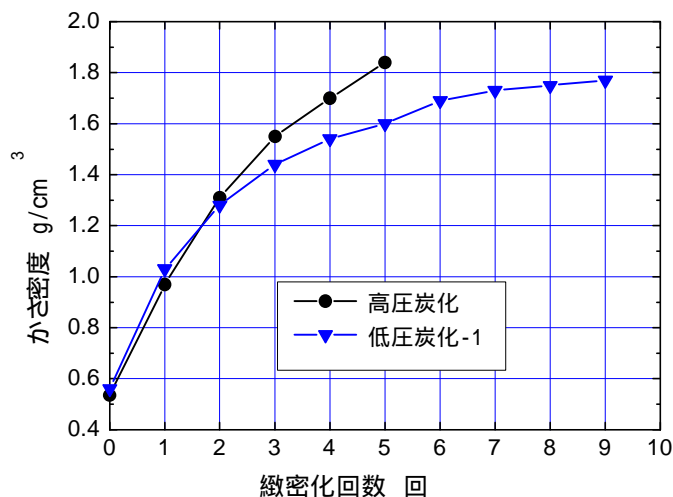


図4 中間成形体の緻密化状況

(1) 緻密化品の熱物性

一次成形体をピッチ含浸/炭化により緻密化し、熱処理温度と熱伝導率との関係を把握した。熱伝導率の測定にはレザフラッシュを用い、熱拡散率、比熱および密度の積から熱伝導率を算出した。測定は面外方向（成形体の厚み方向）および面内方向（成形体の径方向）の二方向について実施した。

その結果、図5に示すように、熱伝導率は熱処理温度と共に向上し、面内方向が面外方向よりも大きかった。異方性の理由は繊維配向の影響と考えられる。

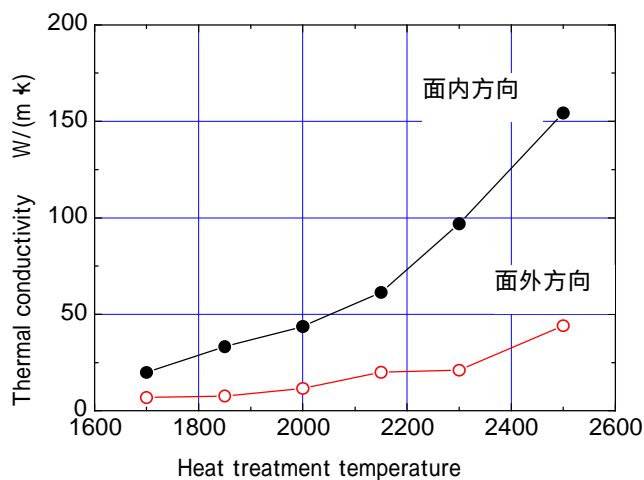


図5 緻密化品の熱処理温度と熱伝導率

(2)緻密化品の機械的特性

中間成形体をピッチ含浸/炭化により緻密化し、熱処理温度と機械的特性との関係を把握した。緻密化品を所定の大きさに切り出し、表面硬さおよび強度を測定した。結果をそれぞれ図6および表3に示す。これより、表面硬さは熱処理温度と共に低下した。これは黒鉛化の進行によるものと考えられる。強度は曲げ特性のほうが高い値を示した。ブレ - キ等の回転体の強度としては十分と考察した。

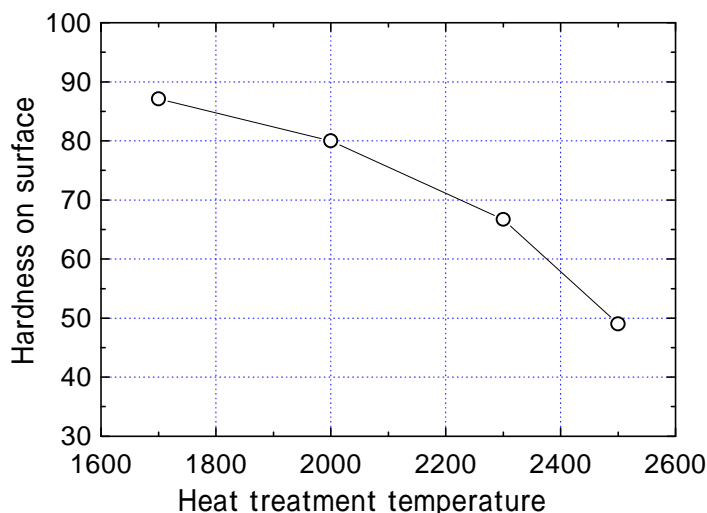


図6 緻密化品の熱処理温度と表面硬さ

表3 緻密化した中間成形体の強度特性

		2000	2150
引張特性	強度	43 MPa	46 MPa
	弾性率	35 GPa	26 GPa
曲げ特性	強度	71 MPa	68 MPa
	弾性率	6.7 GPa	6.3 GPa

(3)緻密化品のブレ - キ特性

ピッチ含浸/炭化により緻密化した中間成形体を摺動試験のディスク形状に機械加工し、摺動試験を行った。摺動速度Vを3～16m/s、また押付力Pを31～56kgfの間で変化させ、制動は60秒ずつon/offを20回繰り返した。摩擦係数の測定結果を図7に示す。摩擦係数は摺動速度3～16m/sの間で0.2～0.4の間でほぼ安定であった。

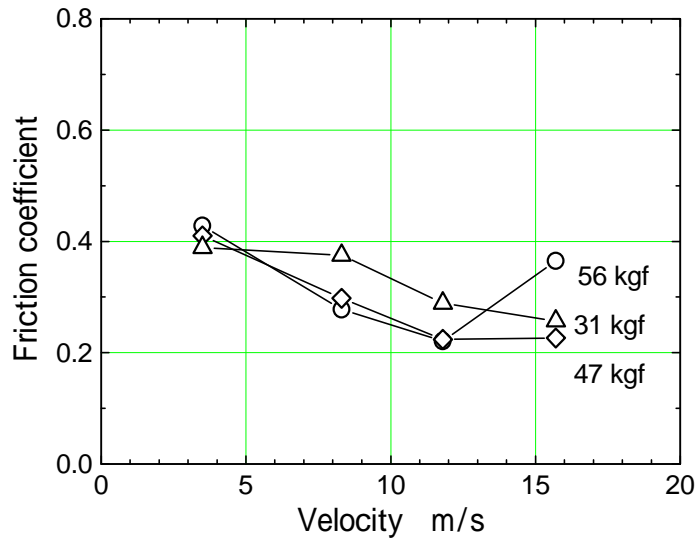


図7 中間成形体の緻密化後の摺動試験における摩擦係数

摩擦係数と押付力(P)×摺動速度(V)の積との関係を調べた。図8に示すように、PV積と共に一旦低下し、再び向上することが分かった。

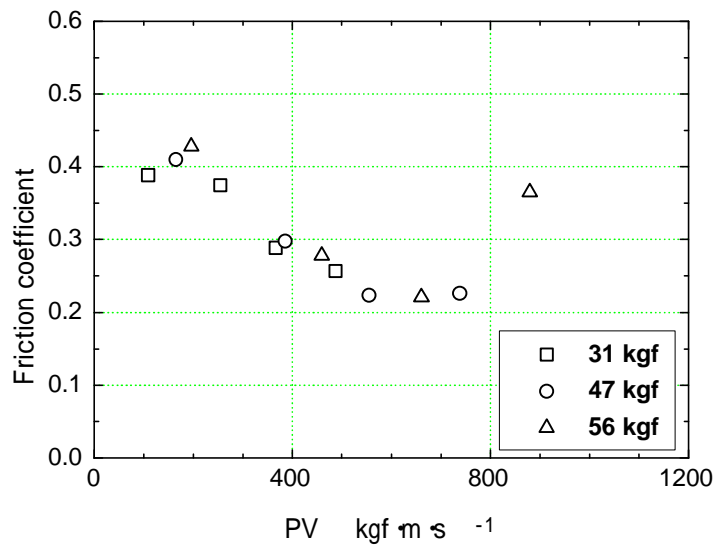


図8 摺動試験におけるPVと摩擦係数との関係

摩擦係数と押付力(P)および摺動速度(V)との関係を調べた。図9に示すように、Vが小さく、Pが高いほうが大きな摩擦係数を示すことがわかる。

図9 摺動試験におけるPVと摩擦係数との関係

ステータの摺動面10mm下に熱電対を設置し、摺動試験中の温度を計測した。結果を図10に示す。制動は60秒ずつon/offを20回繰り返しており、回数と共に温度は上昇する。今回の試験条件下では最高到達温度は700 近くとなった。

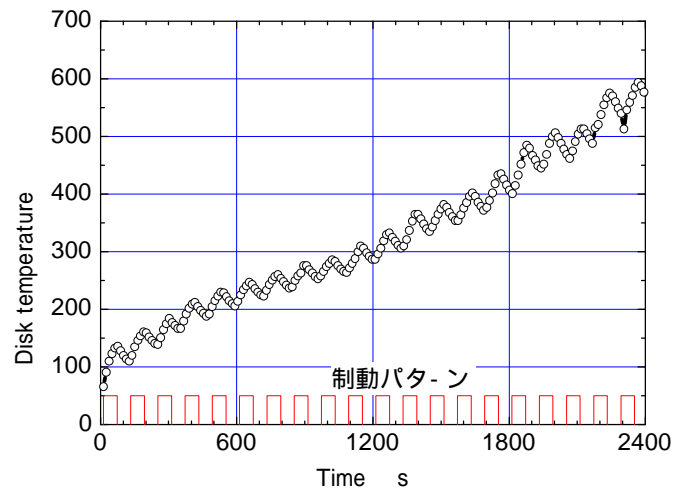


図10 制動パタ - ンとディスク温度(10mm下)との関係

制動開始から5回目までの制動パタ - ンとディスク温度との関係を図11に示す。摺動開始と共に温度が上昇し、摺動終了と共に下降する状況が分かる。

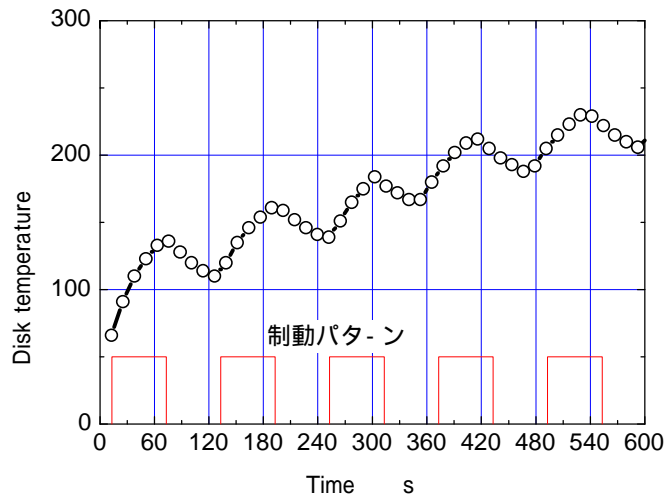


図11 制動パターンとディスク温度(10mm下)との関係

制動中に到達した最高温度を μPV に対してプロットした。結果を図12に示す。ディスク温度は μPV とよく対応することがわかった。

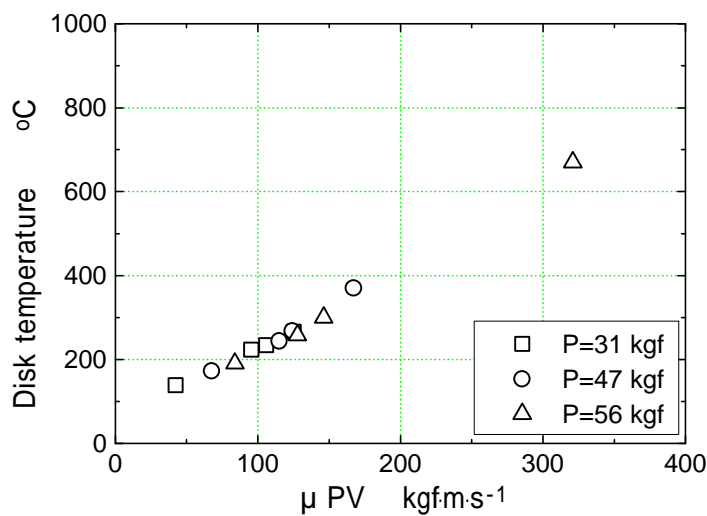


図12 摺動試験中のディスク最高到達温度(10mm下)

摩擦係数に続いて摩耗量の検討を行った。摩耗量は試験前後の厚み変化および重量変化より算出した。摩耗量を厚み変化より算出した結果を図13に示す。摩耗量は摺動速度8m/s付近で最大となる傾向を示した。全般的にはやや多目であった。摩耗量が少な目となる摺動速度16m/s付近では、摺動後の試験体表面に図14に示すような膜が形成されていた。ここで、押付31kgfにおいて摩耗量が摺動速度16m/s

で著しく増加しているが、材料特性ではなく厚み測定時の誤差であるものと推察される。

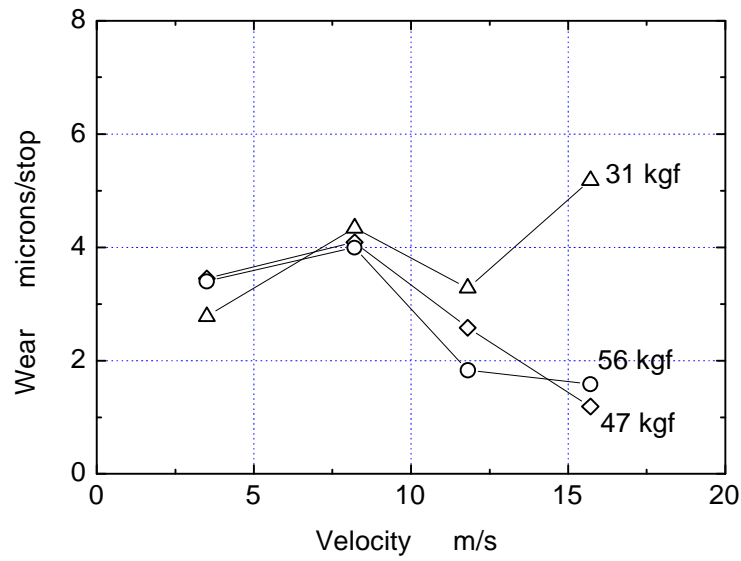


図13 中間成形体の緻密化後の摺動試験における摩耗量(厚み基準)

後 摺動前 摺動

図14 摺動試験前後のディスク表面の状態

摩耗量を重量変化より算出した結果を図15に示す。厚み基準と同様に、摩耗量は摺動速度8m/s付近で最大となった。

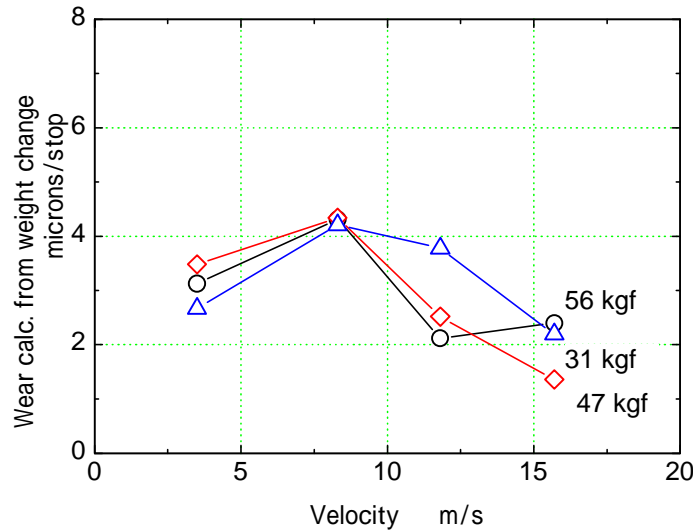


図15 中間成形体の緻密化後の摺動試験における摩耗量（重量基準）

ここで、摩耗量に関し、厚み基準の摩耗量と重量基準摩耗量との比を酸化パラメータと定義した。

$$\text{酸化パラメータ} = \text{重量基準摩耗量} / \text{厚み基準摩耗量}$$

すなわち、酸化による減量がなければ、酸化パラメータ = 1 であり、酸化の進行と共に酸化パラメータは大きくなる。図16は酸化パラメータをディスク温度に対してプロットしたものである。一部に酸化パラメータが1以下となる結果も見られたが、全般的に酸化パラメータはディスク温度と共に大きくなり、特に摺動面下10mmの温度が700 となる条件下では1.5となった。

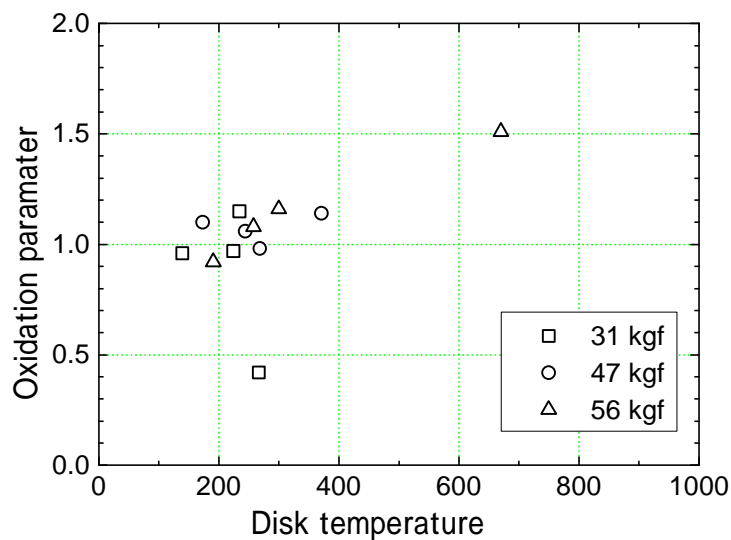


図16 ディスク温度(10mm下)と酸化パラメータ

3 . 試験研究の成果

3 . 1 中間成形体用原系の開発

重質油より得られたピッチを用いて溶融紡糸を行い、これを不融化処理して中間成形体用原系とし、原系製造条件と中間成形体の成形性との関係を検討した。

原系試作時の不融化条件を検討し、不融化後の重量増加率が8.9～9.1% (条件A) および9.1～9.5% (条件B)であれば、いずれにおいても良好な中間成形体を得られることが分かった。

3 . 2 中間成形体製造技術の開発

次いで、中間成形体の成形・炭化条件の検討を行った。その結果、成形・炭化条件 (100～600)において良好な成形体を得られることが分かった。また、成形・炭化が高温になるに従い、中間成形体の繊維体積含有率(V_f)および嵩密度が減少する傾向があることが明らかとなった。

3 . 3 中間成形体の評価

中間成形体の緻密化・焼成処理を行い、機械加工を行った後に、緻密化品の熱物性、機械的特性およびブレ - キ特性を評価した。

熱伝導率は熱処理温度に依存し、処理温度と共に増大する傾向を示した。また、繊維配向の影響により面外方向よりも面内方向のほうが高く異方性を示すことが分かった。

機械的特性を検討した結果、表面硬さは熱処理温度と共に低下することが分かった。強度に関しては、引っ張りおよび曲げ特性共にブレーキ等回転体の強度として十分な値が得られた。

押付力Pおよび摺動速度Vを変化させて、摩擦係数および摩耗量を測定した。摩擦係数はPVの領域により変化し、摩耗量のうち酸化に起因するものについてはディスク温度に依存することが分かった。

4 . まとめ

陸上輸送車両に搭載されるブレーキは、航空機とは異なり走行中(航行中)も常にディスクが回転し続けるため、その回転応力に耐えうる強度を有するディスク材が要求される。本年度の炭素系ブレーキ中間成形体の開発において、その緻密化品は上記要求値に対し十分な強度を示すことが分かり、本研究開発の目的の一部を達成することができた。今後はブレーキにとって重要な摩擦摩耗特性の支配因子を追求すると共に、摩耗量と製造条件の関係を把握していく予定である。