

TiCN 系サーメットと鋳鉄との摩擦摩耗特性

Friction and wear characteristics between TiCN cermet and cast iron

キーワード

摩擦, 摩耗, TiCN, サーメット, 鋳鉄, ロータリコンプレッサ, ベーン, 代替フロン

マテリアル事業部
材料開発部材料開発室

原 恭

富山大学工学部
機械知能システム工学科

松木 賢司

■ 摘要

ローラチップ式の摩擦摩耗試験機を用いて、TiCN サーメット合金製チップと FC250 製鋳鉄ローラによる無潤滑での摩擦摩耗試験を実施した。荷重 10N~30N, 摩擦速度 0.05~0.3m/s, 摩擦距離 2000m の試験条件にて摩擦力-摩擦距離線図を得た。摩擦力-摩擦距離線図は摩擦条件によって異なるが、特に摩擦距離 500m までの初期の段階のカーブによって A, B および C の 3 種類に分類される。A タイプでは、摩擦開始後摩擦力が急上昇して最大値に達した後、摩擦距離が 300m までの間に、かなりの割合下降した後ほぼ一定値を維持する。B タイプでは摩擦力が初期に上昇した後ほとんど下降することがないが、その後の経過において摩擦力が突然下降または上昇をすることがある。C タイプにおける摩擦力は初期の上昇中に、一旦急に下降し、次いで再度上昇し、以後ほぼ一定値を保つ。

これら 3 つの摩擦力-摩擦距離線図とチップおよびローラの摩耗特性について、摩擦面の SEM 観測および EPMA 分析結果との関連を考察した。

■ Abstract

Friction and wear tests between the TiCN cermet chip and FC250 cast iron roller have been carried out using a roller-chip type testing machine in air under unlubricated condition. The friction force-sliding distance curves were obtained under the following test conditions: normal loads between 10N-30N, sliding speeds between 0.05m/s-0.3m/s, and a total sliding distance of 2000m. The friction force was affected by the sliding distance in the different manners depending on sliding conditions. The friction force-sliding distance curves for the tests could be divided into three groups (type A, type B and type C), depending on the characteristic of the profile, especially in the early stage (~500m in sliding distance) of each wear test.

In type A, the friction force rapidly increased to a maximum value at the beginning of a test, and then decreased to a certain stable value for the sliding distance after that. In type B, such rapid decrease in the frictional force after a maximum value did not appear, although sudden drops or rises were observed irregularly during the test. In type C, the friction force once decreased after the reaching to a maximum and again increased to a certain stable value for the sliding distance after that. The amount of wear after the test was relatively large in the TiCN cermet chip for type B, but remarkably large in cast iron roller for type C.

The origin of such three types of friction force-sliding distance curve and the tendency of wear in both chip and roller were discussed in related with the results of the sliding surface SEM observation and EPMA analysis.

1. はじめに

ロータリーコンプレッサ用冷媒の代替フロン化に伴い、そのベーン材料に対して耐摩耗性や相手材攻撃性の改善が強く求められている^(1, 2, 3, 4, 5)。その方

策としてベーンに表面処理を施すものと、母材としてより高硬度な材料を採用する場合とに大きく 2 分される。本研究では TiCN 系サーメット^(6, 7, 8, 9)をベーン材料に適用することを想定した上で、旋削用の TiCN 系汎用サーメットとねずみ鋳鉄間の摩擦摩耗

特性に及ぼす押付荷重と摩擦速度の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 試験装置

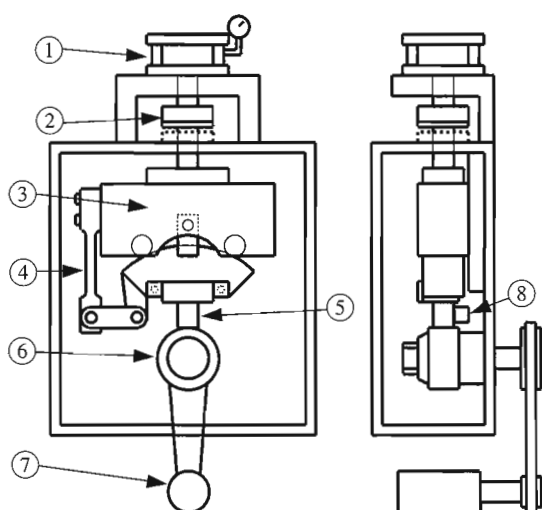
図1に本実験で用いたローラチップ式摩擦摩耗試験機の模式図を示す。本装置では、回転する円筒型鋳鉄製ローラの外周面に対して直方体のサーメットチップを所定の押付荷重にて接触させる仕組みになっており、その際の摩擦力が測定できる機構を有する。押付荷重はシリンダーとチップハウジングの間に取り付けられたロードセルによって検出される。

摩擦力が発生すると板バネがたわみ、歪みゲージによって検出される。摩擦力は、摩擦距離0.1m（ほぼローラ1回転相当）毎の平均値を計測した。

2.2 試料および試験条件

表1にチップおよびローラの寸法と特性を示す。チップとローラはアセトン中で2~3分程度超音波洗浄後、できるだけ正確に接触するように試験装置に取り付けた。

試験条件は、表2に示すように、チップの押付荷重 P は10N、20N及び40Nの3段階、摩擦速度 V は0.05m/sから0.30m/sの範囲で4段階とした。表中の摩擦距離は2000m一定とし、摩擦距離 L に



- ① Bellows cylinder ⑤ Cermet chip
- ② Load cell ⑥ Cast iron roller
- ③ Up&down block ⑦ Motor
- ④ Leaf spring ⑧ AE sensor

図1 ローラチップ式摩擦摩耗試験機

ともなう摩擦力 F の変化を測定した。また、試験前後の試験片の重量差を電子天秤（精度0.1mg）を用いて測定し摩耗量を求めた。さらにチップ及びローラの摩耗面の形態を走査型電子顕微鏡で調べた。

3. 実験結果

3.1 摩擦力-摩擦距離線図

表2に示した10種類の条件で各5回以上摩耗試験をおこなった結果得られた摩擦力 F -摩擦距離 L 線図のパターンは、その典型例を図2(a)-(c)に示すように、A、B、及びCの3種類に分類された。

図2(a)のAタイプの特徴は、摩擦開始後摩擦力

表1 試料の形状および特性

	Material	Size, mm	Hardness, HRA	Roughness, Ra
Chip	Cermet	5×10×20	91.6	0.5μm
Roller	Cast-iron (FC250)	φ30×12	50.0	0.1μm

表2 試験条件

Load P , N	10	20	40
Calculated Herz contact pressure P_{Hmax} , MPa	56	80	110
Sliding velocity V , m/s	0.05, 0.10, 0.20, 0.30		
Sliding distance L , m	2000		
Atomosphere	air		
Lubrication	none.		

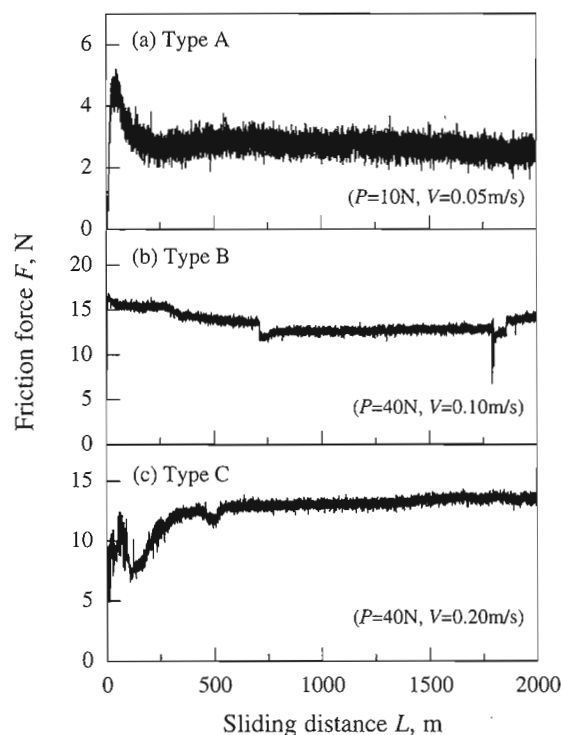


図2 摩擦力-摩擦距離線図

が急上昇して最大値に達した後、摩擦距離が 300m までの間に、かなりの割合下降した後ほぼ一定値を維持するものである。

図 2(b)の B タイプは摩擦力が初期に上昇した後ほとんど下降することはないが、その後の経過において摩擦力が突然下降または上昇をすることのある不安定なものである。

図 2(c)の C タイプは初期の上昇中に、一旦急に下降し、次いで再度上昇し、以後ほぼ一定値を保つタイプである。図 3 には摩擦試験条件別に、以上 3 種類のタイプの摩擦力 F -摩擦距離 L 線図が得られる頻度割合を示した。これから分かるように、A タイプは、 $P=20\text{N}$ 以下のほとんどすべての摩擦速度条件で生じ、さらに $P=40\text{N}$, $V=0.05\text{m/s}$ の条件でも起こる。B タイプは $P=40\text{N}$, $V=0.10\text{m/s}$ の条件で多く見られ、速度が増加した $V=0.20\text{m/s}$ では C タイプに変わり減少するが、 $V=0.30\text{m/s}$ では再び増加する。C タイプの最も現れる摩擦条件は主として $P=40\text{N}$ で $V=0.20\text{m/s}$ である。

3.2 摩耗量

図 4 に、チップ摩耗量 W_1 とローラの摩耗量 W_2 それぞれについて、摩擦速度 V との関係プロットした。チップ摩耗量 W_1 は、いずれの荷重 P においても、 $V=0.10\text{m/s}$ で最大値を示す傾向がある。また、 $P=40\text{N}$ で特にその値は大きい。一方、ローラ摩耗量 W_2 は、 $P=10\text{N}$ と 20N では摩擦速度による差

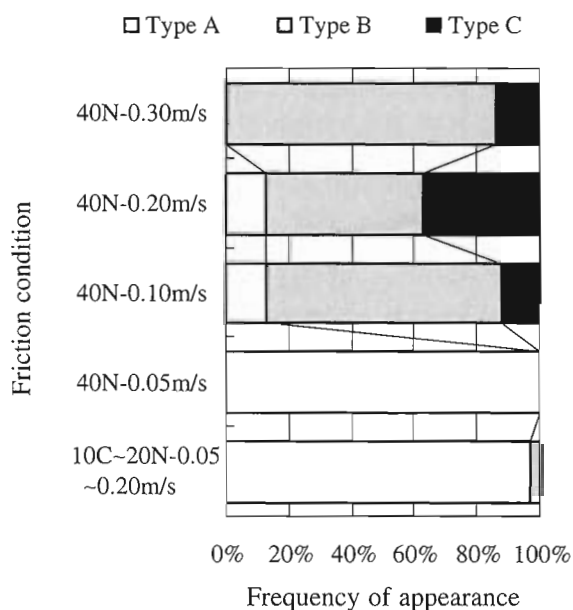


図 3 摩擦力-摩擦距離線図
タイプの出現率

がほとんど見られないが、 $P=40\text{N}$ の場合 $V=0.20\text{m/s}$ で著しく大きな摩耗量を示す場合が認められた。図 4 に示したように、チップ及びローラの一定荷重における摩耗量は、摩擦速度の増大によって必ずしも増加しない事が分かる。

図 3 の摩擦条件と摩擦力 F -摩擦距離 L 線図の出現頻度との関係でも述べたように、荷重 $P=40\text{N}$, 摩擦速度 $V=0.10\text{m/s}$ では B タイプが多いが、これはチップ摩耗量 W_1 の多かったものに対応する。同様に C タイプの多い $P=40\text{N}$, $V=0.20\text{m/s}$ ではローラ摩耗量 W_2 の著しく多い場合が出現する。そして A タイプはチップとローラともに比較的摩耗量の少ない場合に対応する。

このような対応関係をさらに明確にするため、すべての摩擦試験における摩耗量 W_1 と W_2 の相関関係を図示すると図 5 に示したようになる。図 5 では、その摩耗量を測定した各試験片の摩擦力 F -摩擦距離 L 線図が属するタイプ別にグループ化して

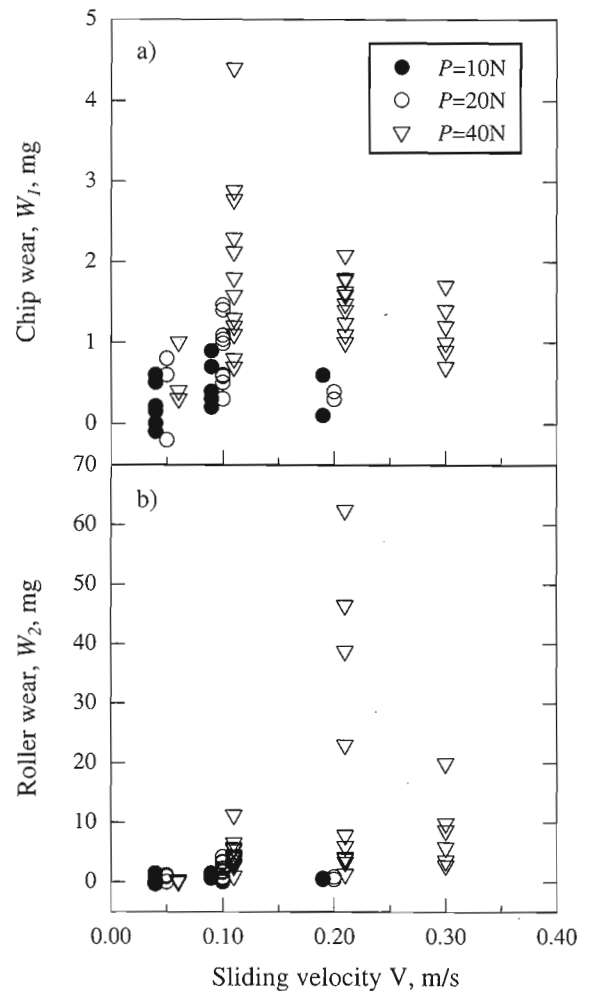


図 4 チップ摩耗量 W_1 およびローラ
摩耗量 W_2 と摩擦速度の関係

示した。Aタイプはチップとローラの摩耗量がともに少なく、またチップ摩耗量とローラ摩耗量がほぼ同じ割合増加する。それに比較してBタイプは比較的チップ摩耗量の多いものが多く、チップの摩耗量が多いほどローラ摩耗量は逆に減少する傾向にある。Cタイプはチップの摩耗量が約1.5mgに抑制される一方で、ローラ摩耗量が著しく増大した。

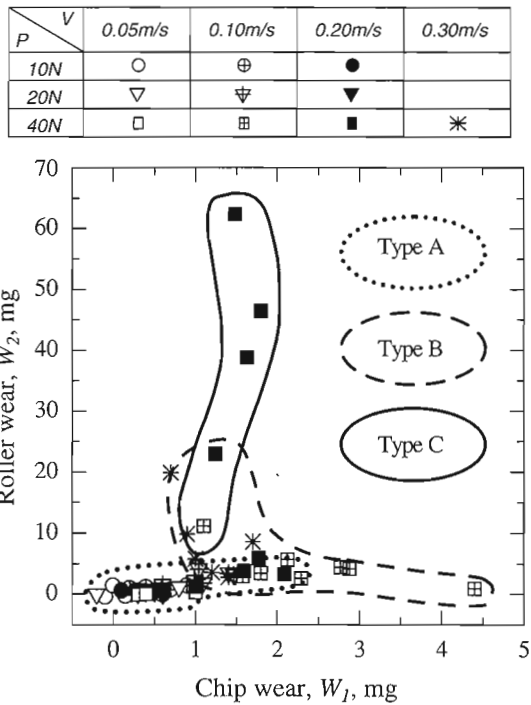


図5 ローラ摩耗量とチップ摩耗量の関係

3.3 試験後の摩擦面の損傷状況

図6に、摩擦試験前の研削仕上状態のチップとローラ摩耗面のSEM組織、及び摩耗試験によって分類されたA、B、およびCタイプ代表例のチップとローラの摩擦面のSEM像とチップ摩擦面のEPMAによるFe-Kα測定結果を示す。

3.3.1 チップ摩擦面

Aタイプでは、鏡面仕上げのような平滑な面が広い領域で得られ、サーメットのマイクロ組織が明瞭に認められる。Bタイプにおいては、鋭い摩耗条痕が多数見られるが、各条痕の間の領域にはサーメットマイクロ組織がそのまま認められる。また、若干のFe系摩耗粉の条痕に沿った付着がEPMA像より認められる。Cタイプではサーメットの上に大量のFe系摩耗粉が分散して付着しており、下地のサーメットマイクロ組織は見え難い。この摩耗粉が付着している下に、一部細かい条痕がややジグザグして見られる。

3.3.2 ローラ摩擦面

AタイプおよびBタイプともに、試験前とあまり変わらない研削痕が残存している。一方Cタイプでは試験前の研削痕は消滅し、表面が摩擦方向に塑性流動したような状態が見られ、塑性流動後に偏平化した薄片が脱落したためと思われる凹部が各所に認められる。

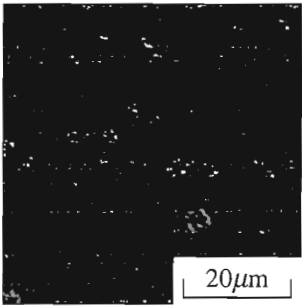

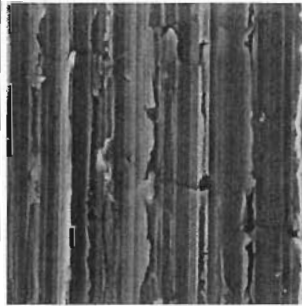
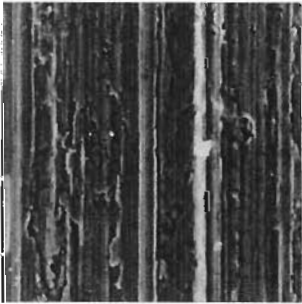

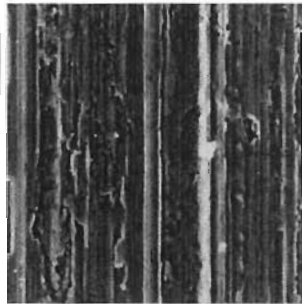
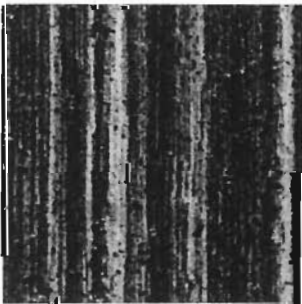
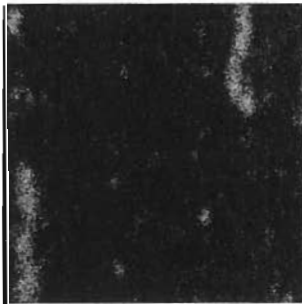
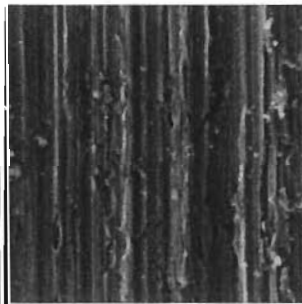
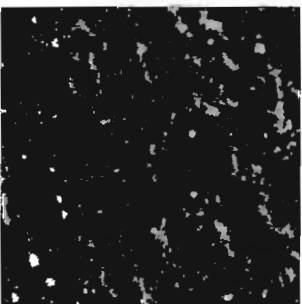
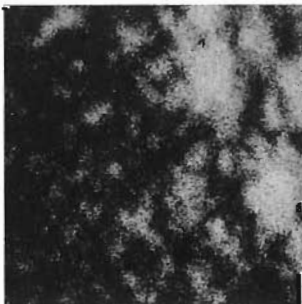

			Chip		Roller
			SEM	Fe-K α	SEM
Before friction					
Type	P, N	V, m/s			
A	10	0.05			
B	40	0.10			
C	40	0.20			

図6 各タイプの典型的なチップおよびローラの摩擦面におけるSEM像

4. 考察

以上に述べた結果を要約すると表3のようにまとめることができる。そこでこのような結果が得られた原因について摩擦機構の観点で以下に考察を加える。

4.1 Aタイプの摩擦機構

Aタイプの摩擦距離にともなう摩擦摩擦過程では、最初は表面層除去により摩擦力の上昇を開始し、表

面の突起が破壊されて摩擦粉を発生するとともに、その摩擦粉が再び摩擦面に戻って摩擦力を更に上昇させる。ここでは摩擦粉によるアブレイブ摩擦が主体である。その後表面が平滑化して摩擦粉の発生が減少すると同時に摩擦粉自体も摩擦面へ進入しにくくなるため摩擦力も徐々に低下し⁽¹⁰⁾、サーメットと鋳鉄の面接触による定常摩擦力におちつく。その後ローラの損傷も少ないことと、摩擦力が摩擦距離とともにほとんど変化しないことより、鋳鉄とサーメット間の弱い凝着摩擦状態が持続していると思われる。

表 3 摩擦摩耗特性まとめ

Classification of F-L curves	Type A	Type B	Type C
Feature in F-L curve			
The wear condition in which each type mainly appears	$P=10N, 20N$ $V=all\ conditions$	$P=40N$ $V=0.10m/s, 0.30m/s$	$P=40N$ $V=0.20m/s$
Amount of wear	Chip	a little	relatively large
	Roller	a little	a little
Configuration of worn surface	Chip	mirror finish	sharp streak
	Roller	grinding mark remained	grinding mark remained

4.2 Bタイプの摩耗機構

Bタイプの摩擦力 F -摩擦距離 L 線図で、Aタイプと異なり初期の摩擦力上昇後のピークに達した後の下降がほとんど見られないのは、サーメットの条痕形成が持続するため摩擦力が低下しないことによると考えられる。荷重と摩擦速度が大きくなり、 $P=40N$ 、 $V=0.10m/s$ を主体にそれ以上の摩擦速度においても Bタイプが見られるが、その理由としては、サーメット中の硬質粒子脱落による条痕生成の継続と、摩耗粉の巻き込みによるアブレシブ摩耗の継続が考えられる。

4.3 Cタイプの摩耗機構

Cタイプの摩擦力 F -摩擦距離 L 線図は、初期のピークを過ぎた後または途中で急に減少し、その後再上昇するが、これは、なじみかけた後に摩擦熱による凝着が発生し、再度摩擦力が上昇し、鋳鉄表面が軟化し、図6のSEM組織から分かるように塑性流動することを示すと考えられる。その後は初期の凸部が塑性流動により薄片化し剥離するものと思われる。この様なCタイプでは鋳鉄ローラの摩耗が著しく促進されたのであろう。

5. おわりに

TiCN系サーメットチップとFC250鋳鉄ローラの大气中、無潤滑の摩擦摩耗試験を、押付荷重10Nから40N、摩擦速度0.05m/sから0.30m/sの条件範囲で実施した。その結果、摩擦力 F -摩擦距離 L 線図は、特にその初期の特徴から3種類のタイプに区別できる。また、この3種類のタイプにおけるチップとローラ摩耗量の変化及び摩擦面のマイクロ組織的挙動との関係から、表5に示したように、摩擦現象を基礎的に明らかにすることができた。

—以上、トライボロジスト Vol.45, No.11, (2000) 40より転載—

文献

- 1) 本間吉治・小松崎茂樹：フロン雰囲気における摩擦摩耗特性，日本潤滑学会第34期全国大会（富山）予稿集(1989)185.
- 2) 平野秀夫・河野博之他：摺動試験における HFC 冷媒用冷凍機油の潤滑性能評価，トライボロジー会議予稿集 金沢 1994-10(1994)507.
- 3) 特開平 2-102392：ロータリー型密閉圧縮機
- 4) 河原克己・萩原茂喜：代替冷媒対応圧縮機の開発とそのトライボロジー，トライボロジスト，40，9(1995)707.
- 5) 飯塚 薫・石山明彦・畠 裕章：代替冷媒仕様の冷蔵庫とトライボロジー，トライボロジスト，40，9(1995)712.
- 6) 植木光生・斎藤 豪・斎藤武志・他2名：TiC-TiN-Mo₂C-Ni 合金の諸性質に及ぼす主として炭化タンタル 炭化タングステン添加の影響，粉体および粉末冶金，35(1988)27.
- 7) 超硬工具ハンドブック，超硬工具協会(1998).
- 8) 特開平 9-176773：サーメット合金製ペーン
- 9) 勝村祐次：サーメットの耐摩耗性，潤滑，28，11(1983)809.
- 10) Nam P.Suh & H.-C.Sin：The Genesis OF Friction, Wear, 69(1981) 91.



原 恭

1982年 不二越入社
東富山製鋼所 PM 開発室 (現 焼結課)
1992年 東富山製鋼所技術部
2000年 マテリアル事業部材料開発部材料開発室長



松本 賢司

1979年 富山大学工学部機械システム工学科助教授
1997年 富山大学工学部機械知能システム工学科教授