

金型用亜鉛合金の放電加工特性と フレーム電極による高能率創成加工

Electrical Discharge Machinability of Zn-alloy for Die-Making and High Speed Contouring with Wire Frame Electrodes

南 久* 増井 清徳** 塚原 秀和***
Hisashi Minami Kiyonori Masui Hidekazu Tukahara
李 瑞竣**** 萩野 秀樹*
Seojoon Lee Hideki Hagino

(2003年7月10日 受理)

This paper describes electrical discharge machinability of Zn alloy (ZAPREC) for die-making, which is compared with die steel (SKD11) machinability. The resultant newly developed Zn alloy allows high-speed electrical discharge machining (EDM) with lower electrode wear ratio under finishing conditions. Therefore, Zn alloy with these excellent electrical discharge machinabilities enables effective die-making using three-dimensional contouring with wire frame electrodes.

キーワード：放電加工，亜鉛合金，ワイヤフレーム，創成放電加工，金型

1. 緒 言

近年の消費者ニーズの多様化と製造業の海外移転が進む中で，国内の金型生産業界では，さらに短納期，低コスト化が強く求められ，多品種小ロット生産用金型への需要が急速に高まっている．そこで，これまで鉄鋼系材料にそのほとんどを頼っていた金型材も，今後はそれぞれの使用目的に応じた素材の選定とそれらに対する加工技術の確立がますます重要になると思われる．

金型用亜鉛合金 (ZAPREC) は，従来から試作用金型材として，主に用いられてきた亜鉛合金 (ZAS) の

素材特性が改良¹⁾されたもので，金型製作時の機械加工性や樹脂の成形性などにおいて多くの利点が期待されている²⁾．

本論文では，金型加工に必要な亜鉛合金 (ZAPREC) の放電加工特性，および仕上げ領域での電極低消費高速加工性に着目したワイヤフレーム電極による三次元創成放電加工について述べる．フレーム電極による形状創成加工^{3,4)}は，目的とする部品の外形面に沿って，輪郭部のみをNC制御により除去加工するもので，金型のキャビティやコアなどにおいて高能率な加工が期待できる．

2. 実験方法

実験条件は，表1に示す．放電加工特性実験は，工具電極として外径φ20mmの円柱電極 (Cu) を用い，電極中心部に設けられた内径φ5mmの中空穴からの噴流

* 生産技術部 特殊加工グループ
** 評価技術部
*** 評価技術部 金属分析グループ
**** 生産技術部 客員研究員

によって加工液のフラッシングを行った。工作物には金型用亜鉛合金(ZAPREC:表2), 比較する鉄鋼系材料には, 合金工具鋼SKD11を金型鋼として用いた(以下本文では金型鋼と称する)。それぞれの試料の物性値は表3に示す。

また, 得られた結果をもとに単純棒状電極(Cu:φ1, 2, 4mm)による溝加工を行い, フレーム電極の適用に必要な電極低消費高速加工条件を求めた。単純形状電極としてのワイヤフレームは, φ1mmの銅ワイヤを目的とするフレーム形状に成形し, 形彫り放電加工機のNC制御による三次元創成加工を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 放電加工特性

図1は, 放電持続時間と加工速度の関係を示す。最大放電電流(i_e)が同じ場合, 亜鉛合金は金型鋼の約3倍以上の加工速度が得られ, 高速加工が可能である。また, 金型鋼に見られるような加工速度のピークは現れず, 放電持続時間の増加とともに加工速度も上昇する。

このような加工速度の違いを明らかにするため, それぞれの単発放電痕のSEM像, 断面組織写真, および断面曲線について比較検討した(図2)。金型鋼の場合, 放電痕外周部に微小な痕跡が点在するのに対して, 亜鉛合金では, このような点在痕をとまわず, ほぼ完全な円形状の放電痕が形成される。

断面組織写真では, 亜鉛合金の場合, 金型鋼に見られるような放電痕外周部の盛り上がり(噴山)や熔融再凝固層(白層)は形成されず, 組織的な変化もほとんど観られない。また, 亜鉛合金の放電痕直径はやや小さいが, その深さは断面曲線から, 金型鋼の数倍にもおよぶことがわかる。

さらに, 加工中の電極間隙(加工ギャップ)を比較すると, 亜鉛合金の方が1.2~1.6倍広く, 金型鋼の場合に比べて加工屑や気泡がスムーズに排出されやすいことがわかった。

以上のことから, 亜鉛合金において高速放電加工が実現できるのは, 放電による蒸発や溶融量が多く, そのほとんどが再凝固されずに除去されること, 加工中のギャップが広く, 安定な加工状態が維持されやすいことがその主な要因であると考えられる。

図3は, 放電持続時間と体積電極消耗率の関係を示す。亜鉛合金の電極消耗率は, 金型鋼よりも著しく低い値を示し, 特に, 放電持続時間の短い加工条件(本図では, $i_e=10A$, $t_e=10\mu s$)においても電極低消費

表1 実験条件
Experimental condition

放電加工機	ソディック製 A30-NF25
開放電圧	$u_i: 80 V$
最大放電電流	$i_e: 10, 20 A$
放電持続時間	$t_e: 5 \sim 500 \mu s$
Duty	$\tau: 50 \sim 90 \%$
工作物	亜鉛合金(ZAPREC)
電極	銅: φ20, 4, 2, 1 mm
極性	銅(+), 亜鉛合金(-)
加工液	炭化水素系

表2 亜鉛合金(ZAPREC)の化学組成
Chemical composition of Zn-alloy (ZAPREC)

(mass %)							
Al	Cu	Mg	Fe	Pb	Cd	Sn	Zn
7.18	3.89	0.018	0.013	0.011	0.002	0.015	Bal.

表3 物性値の比較
Comparison of physical properties

	亜鉛合金 (ZAPREC)	金型鋼 (SKD11)
密度 g/cm^3	6.52	7.72
融点 $^{\circ}C$	372	1530
熱伝導率 $cal/cm \cdot s \cdot ^{\circ}C$	0.27	0.065
比熱 $cal/g \cdot ^{\circ}C$	0.099	0.133

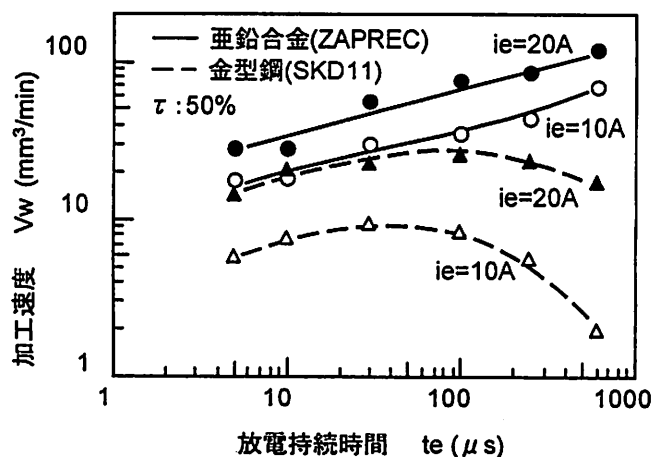


図1 放電パルス幅と加工速度の関係
Relationship between discharge duration and removal rate

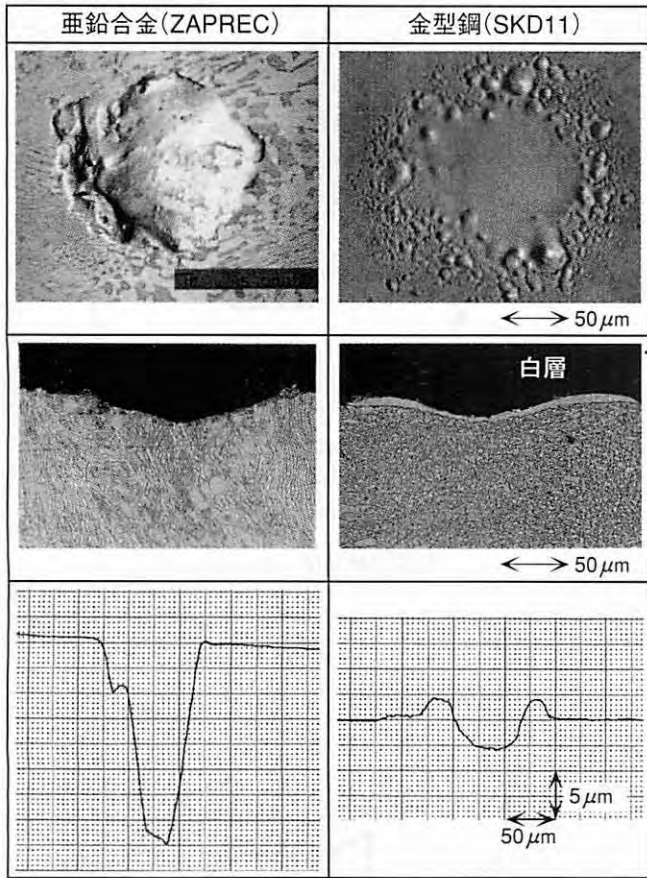


図2 単発放電痕の比較 (ie : 10A, te : 30μs)
Comparison of single discharge crater
(ie : 10A, te : 30μs)

加工(電極消耗率1%以下)が実現されている。なお、電極低消耗領域で亜鉛合金を加工した場合、工具電極(Cu)の表面は黄銅色を呈し、Cu-Zn(黄銅)合金の形成が推察される。この場合の表面層は、金型鋼の放電加工において工具電極(陽極)面に形成されるカーボン皮膜と同様に電極の低消耗化に寄与している可能性が考えられる。

(2) フレーム電極による三次元創成加工

亜鉛合金の放電加工では、これまで鉄鋼系材料の加

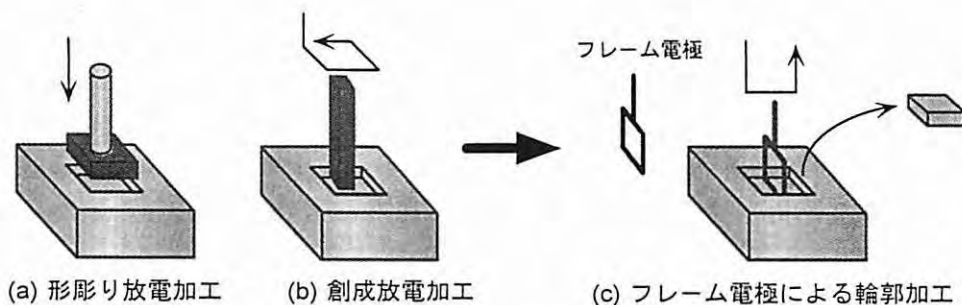


図4 フレーム電極による三次元創成加工
Contouring EDM by wire frame electrode

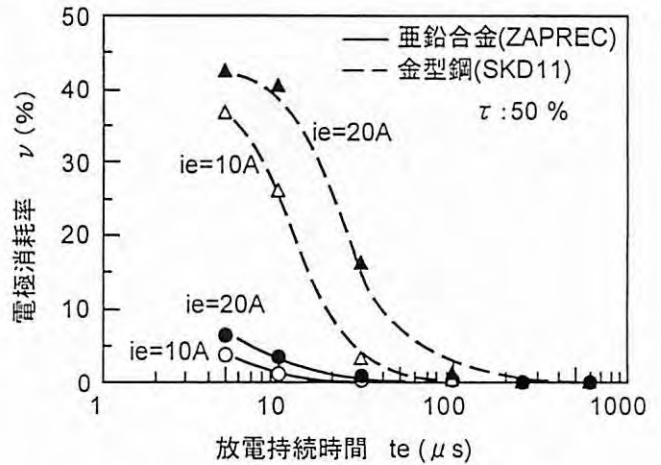


図3 放電パルス幅と電極消耗率の関係
Relationship between discharge duration
and electrode wear ratio

工において、電極が消耗しやすい中・仕上げ加工領域においても電極低消耗加工条件のもとで高速放電加工が実現できる。このため、たとえば、細いワイヤを棒状やループ状に成形し、ワイヤフレーム電極として用いると、図4に示すような輪郭加工が可能になると考えられる。

通常の形彫り放電加工やフライス加工の場合、目的とする製品部以外はすべて加工屑として除去しなければならないが、フレーム電極をNC制御すれば、製品の外形面に沿って輪郭部のみが除去されるため、ワイヤ放電加工のように効率的な金型加工が実現できる。そこで、ワイヤフレーム電極による三次元形状創成加工について検討した。

フレーム電極による加工では、通常の形彫り放電加工に比べて、安定な加工状態を維持するための電極の回転や加工液のフラッシングが十分得られないことが予想される。そこで、こうした影響を調べるために棒状電極による深溝加工を行い、放電加工特性を調べた。

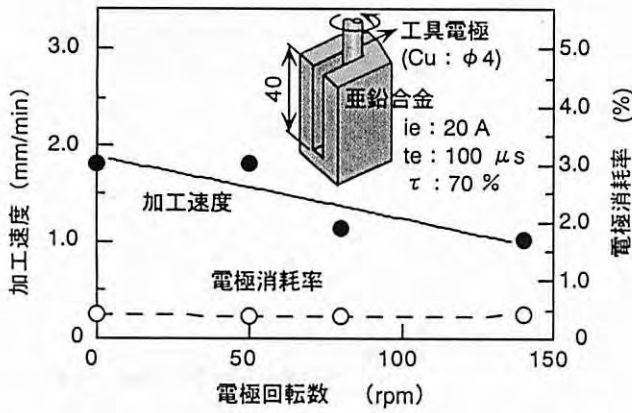


図5 電極回転数の影響
Effects of electrode revolution

図5は、φ4mmの棒状電極を用いて、深さ40mmの溝加工を行った場合の回転数に対する加工速度と電極消耗率の関係を示す。回転数が低いほど加工速度は高く、電極消耗率は回転数が変化してもほとんど一定値(0.4%)を示す。さらに、回転数がゼロの場合でも安定な加工状態を維持することができる。これは、亜鉛合金の加工間隙は、金型鋼に比べて広いことがその一因と考えられ、こうした傾向は電極の回転や加工液のフラッシングが困難なフレーム電極の使用には好都合な結果である。

図6は、φ1、φ2mmの銅電極を用いた場合の放電持続時間(te)に対する加工速度と電極消耗率の関係を示す。電極径が小さくなると電極消耗率はやや高くなる傾向にあるのは、細い電極ほど熱容量が小さく、加工中の熱影響を大きく受けるためと思われる。また、φ1mmの電極では、サーボ電圧(Vs)を必要以上に低く設定した場合、電極が変形し、加工形状を損なうおそれがあるため、Vs>30V、τ<90%などの電気的條件に設定することが望ましい。

図7は、φ1mmの銅棒電極による深さ40mm(アスペクト比:40)の深溝加工例を示す。加工液は無噴流で、加工速度0.9~1mm/minが得られた。このように細い電極を用いても、電極消耗は極めて少なく、加工溝の断面形状はほとんど変化しない。

図8は、円弧断面を有する曲がり穴の加工例を示す。φ1mmの銅ワイヤを図のような円弧状に成形し、XY軸を円弧状に制御する。このような曲がり穴加工は、一般的な機械加工では不可能な形状であり、これまでにない新しい形状加工へも適用が可能である。本例も加工液は無噴流で、1mm/min以上の加工速度が得られた。

図9は、フレーム電極によるブロー成形金型の加工例、および成形サンプルを示す。あらかじめ位置決め

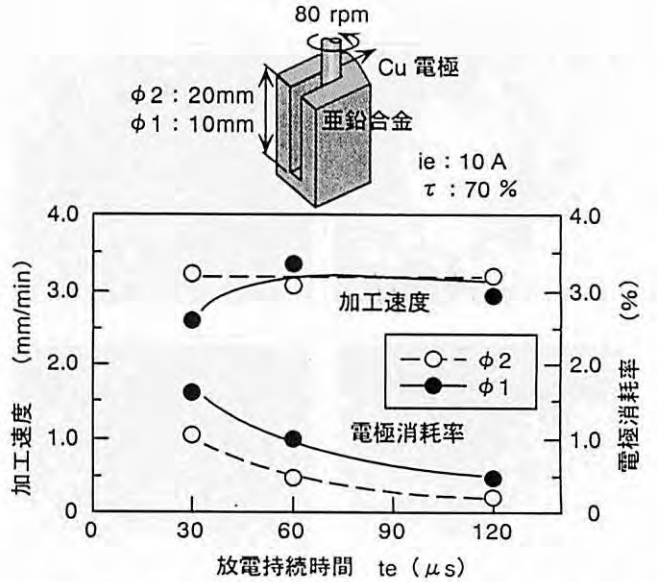


図6 放電持続時間と加工速度、電極消耗率の関係
Variation of electrode wear ratio and removal rate with different discharge duration time

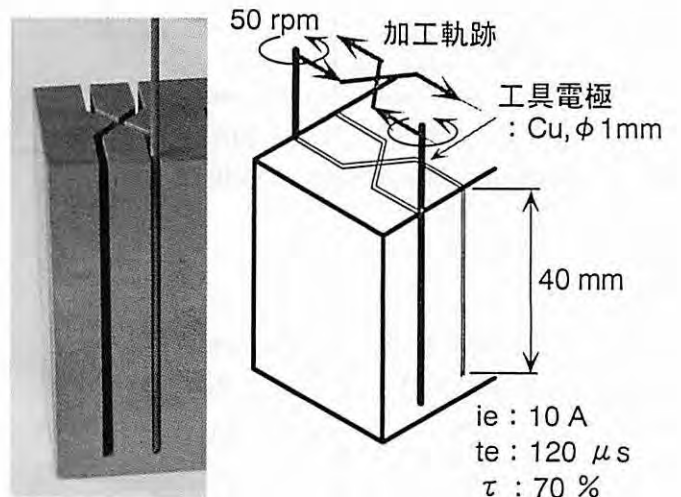


図7 棒状電極による深溝加工
Slit EDM by simple electrode

された2つのブロックの中央部にフレーム電極を挿入し、矢印で示す経路に沿って制御しながら、回転体形状を効率的に加工することができる。ペットボトルやプラスチック容器などのブロー成型品の多くは回転体形状に近いので、フレーム電極を用いることによって、比較的単純なNC制御で、高能率な金型加工が実現できる。

図10は、φ1mmの銅ワイヤを用いて、直径25mmのループ状電極を作成し、図のようにZX面を円弧移動させ、曲面加工を行った例を示す。複雑な曲面で構成された三次元形状面が、こうしたフレーム電極とNC制御によって容易に得ることができる。本例の加工時

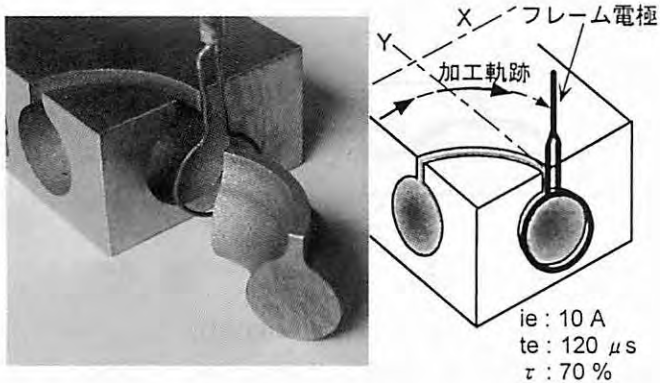


図8 フレーム電極による曲がり穴の加工
Electrical discharge curved hole machining
by wire frame electrode

間は、約30分である。

一方、フレーム電極による加工の場合、通常の形彫り放電加工やフライス加工では、加工屑として除去される部分がブロック状で排出されるため、再利用することもできる。たとえば、図11は、図10で得られた部品をプラスチック射出成形金型として組み立てた場合の構成図を示す。あらかじめコア側と固定板との間に取り付け加工を施しておけば、ほぼ均一なクリアランス(本例のφ1mm電極では、1.2mm)が得られ、キャビティ側とコア側を同時に効率良く加工できる。

図12は、フレーム電極によるキャビティ/コア同時加工金型、およびそれによって成形されたプラスチック製品の加工サンプルを示す。

亜鉛合金に対して形状創成加工を行う場合の電極としては、前述のワイヤフレーム形状以外に、例えばワイヤ放電加工された二次元的な輪郭形状や旋盤加工で得られるような電極形状、さらに、これら複数のフレーム電極を順次組み合わせて使用することが考えられ、より複雑な形状加工への適用も可能である。また、大型金型のように除去量の多いキャビティ加工の場合は、あらかじめフレーム電極で粗取り加工を行い、その後、最終的な形彫り加工を行えば、必要最小限の加工量で目的とする形状面が得られるなど、より高効率な金型加工が期待できる。

4. 結 言

多品種小ロット生産用金型材として開発された金型用亜鉛合金の放電加工特性について調べた結果、亜鉛合金は鉄鋼系材料に比べて、広範囲な加工領域において、安定な加工状態が維持でき、電極低消費高速加工が実現できることがわかった。

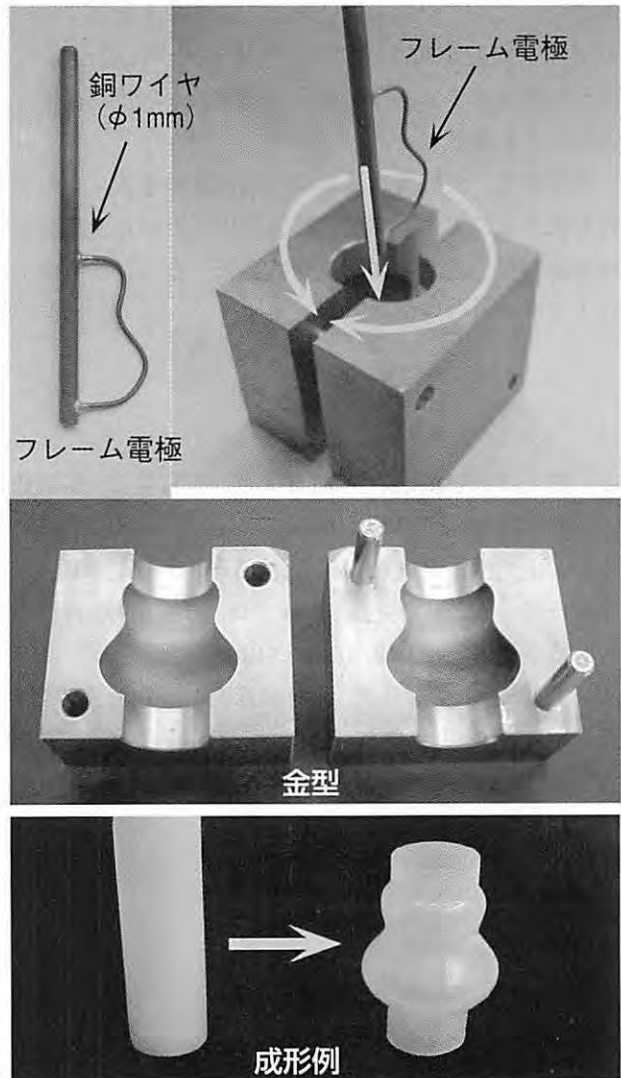


図9 ブロー成形金型への適用例
Blow molding dies and molded samples

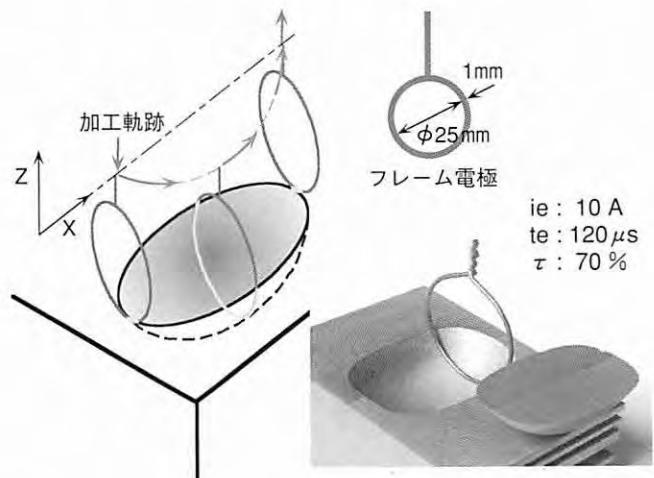


図10 金型キャビティ/コア同時加工
Contouring EDM by wire frame electrode

また、こうした電極低消耗加工条件をもとにフレーム電極を利用すれば、三次元創成加工が可能となり、金型のキャビティやコアなどの効率的な加工に活用できることを確認した。

本研究は、大阪府地域集積活性化補助事業によって行われたものです。実験にご協力いただいた金型総合技術研究会、三井金属鉱業株式会社、ならびに有限会社キャストムの各位に感謝します。

参考文献

- 1) 例えば 久保田耕平, 佐藤 勉, 二宮隆二, 尾城武司: 鋳物, 67, 546 (1995)
- 2) 大上光生: 電気加工学会誌, 37, 84, 39 (2003)
- 3) 今野 廣, 小室克弘, 佐藤 真, 岸浪建史, 斉藤勝政: 精密機械, 49, 10, 32 (1983)
- 4) 毛利尚武, 齋藤長男, 小林和彦, 高鷲民生: 昭和57年度精機学会秋季大会学術講演会論文集, 283 (1982)

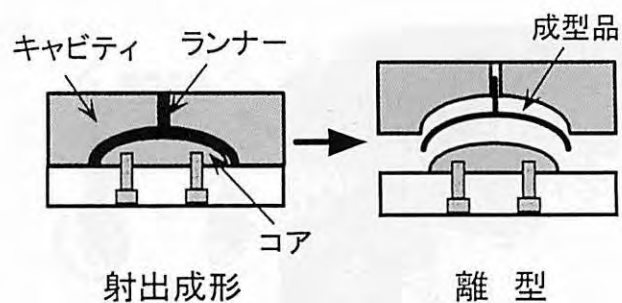


図11 射出成形の概念図

Schematic diagram of injection molding

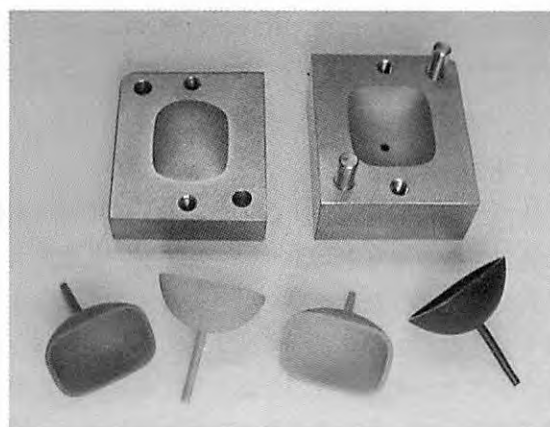


図12 射出成形金型への適用例
Plastics injection molding dies
and molded samples