

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5181120号  
(P5181120)

(45) 発行日 平成25年4月10日 (2013.4.10)

(24) 登録日 平成25年1月25日 (2013.1.25)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>GO 1 N</b> 1/28	<b>(2006.01)</b>	GO 1 N	1/28 N
<b>CO 8 L</b> 101/00	<b>(2006.01)</b>	CO 8 L	101/00
<b>CO 8 L</b> 91/00	<b>(2006.01)</b>	CO 8 L	91/00
<b>CO 8 L</b> 23/20	<b>(2006.01)</b>	CO 8 L	23/20
<b>CO 8 L</b> 45/00	<b>(2006.01)</b>	CO 8 L	45/00

請求項の数 1 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-38710 (P2008-38710)  
 (22) 出願日 平成20年2月20日 (2008.2.20)  
 (65) 公開番号 特開2009-197091 (P2009-197091A)  
 (43) 公開日 平成21年9月3日 (2009.9.3)  
 審査請求日 平成21年3月30日 (2009.3.30)

(73) 特許権者 591155242  
 鹿児島県  
 鹿児島県鹿児島市鴨池新町10番1号  
 (72) 発明者 桑原田 聡  
 鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1  
 鹿児島県工業技術センター内  
 (72) 発明者 牟禮 雄二  
 鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1  
 鹿児島県工業技術センター内  
 (72) 発明者 中村 俊一  
 鹿児島県霧島市隼人町小田1445番地1  
 鹿児島県工業技術センター内

審査官 車谷 治樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

25 での針入度が30~150に調整された固形の高分子物質および平均粒子径40 μm以下の微粉末を含む粘土状物質(A)、または、前記高分子物質、前記微粉末および界面活性剤を含む粘土状物質(B)で、

前記粘土状物質(A)は、前記高分子物質10~99質量%および前記微粉末1~90質量%を含有し、前記粘土状物質(B)は、前記高分子物質10~99質量%、前記微粉末1~90質量%および前記高分子物質と前記微粉末の混合物100質量%に対して0.5~5質量%の界面活性剤を含有し、

前記高分子物質は、固形蠟、または、ステアリン酸、鉱物油、シリコンオイル、ロジンエステル、および石油樹脂から選択される1種類以上および前記固形蠟からなり、前記固形蠟は、パラフィンワックスまたはマイクロクリスタリンワックスであり、

前記微粉末は、タルク、蠟石、炭酸カルシウム、ガラス粉、珪石、珪灰石、酸化チタン、酸化鉄、硫酸バリウムおよびカーボンから選択される1種類以上であって、

加工硬化指数(n値)を-0.60~0.50に調整したことを特徴とする金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鍛造加工、押出し加工等の金属の塑性加工において、加工中の金属材料の流動

過程の解析および定量化が可能な実験シミュレーションに用いられる材料で、金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、鍛造加工、押出し加工等の金属の塑性加工による被加工物の変形過程の評価・検討は次のように行われていた。

【0003】

(1) 実試作による評価検討

設計された製品に対して、被加工材料および加工設備を選定し、加工工程とそれに必要な金型設計を行う。次に加工工程と金型設計の妥当性を判定するために、金型を実際に製作して試作を行い、その結果から良否を判断する。しかし、この方法では、結果の良否の判断は熟練技術者の過去の経験と勘によることが多く、どこを改良すべきか客観的に判断するための数値的なデータが得られなかった。また、金型試作の繰り返しが数回に及び、多大なコストと時間を要していた。

10

【0004】

(2) 計算機シミュレーションによる評価・検討

有限要素法を用いた数値計算力学による計算機シミュレーション技術を用いて、被加工物の変形過程を解析して評価・検討する方法がある。一般的には市販のソフトウェアを用いるが、高価であり、解析には数値計算モデルの設定と複雑な各種境界条件や他の入力条件が必要となるため、取り扱いに専門知識が必要である。また設定条件によっては、実試作と大きく異なる結果が得られる場合もあり、信頼性に欠け、目安程度にしか利用されない。

20

【0005】

(3) モデル材料を用いた実験シミュレーションによる評価・検討

被加工材料と類似の変形特性を示す軟質金属や粘土状物質等のモデル材料を用いた模擬実験によって、材料の変形解析を行い、評価・検討する方法がある。この方法では、被加工材料と比較して少ない応力で変形するモデル材料を使用することで、使用する金型や装置に大きな負担もなく、実試作に近い結果が得られる。また変形過程の解析対象面に格子線を施し、変形によるゆがみ模様を記録することによって、材料の塑性流動過程の解析および定量化が可能となる。したがって、前述の数値計算のような各種物理条件をモデル化した数学式が不要なため、経験の浅い技術者でも利用可能で取り扱いが容易である。

30

【0006】

モデル材料に使用される軟質金属は、鉛やアルミニウムが挙げられる(特許文献1)。しかし模擬実験に金型を使用するため、実試作と同様に金型試作の繰り返しが数回に及び、多大なコストと時間が必要となる。

【0007】

粘土状物質を使用する場合として、市販モデル材料のプラスティシンでは鉛の約百分の一、アルミニウムの約千分の一程度の少ない応力で変形するため、安価な樹脂製の型で塑性変形が可能であり、高価な金型や計算機ソフトウェアを使用する必要がないため、特に安価で低コストなシミュレーション手法である(特許文献2~4)。

40

【0008】

前述の実験シミュレーション用モデル材料に求められる条件として、対象とする金属材料の変形特性と類似した特性を持つことが挙げられる。具体的には、加工硬化指数( $n$ 値)をほぼ同じ値となるように調整する必要がある。ここで加工硬化指数とは、ある試験片を単軸圧縮した場合の応力とひずみから数1の関係となる $n$ 値であって金属材料や加工温度、加工速度で変化する指数のことである。数1の  $\sigma$  は応力、 $K$  は定数、 $\epsilon$  はひずみ、 $n$  は加工硬化指数である。例えば、冷間加工における加工硬化指数として、軟鋼が0.20~0.25、アルミニウム合金が0.25~0.30、銅が0.30~0.35、ステンレス鋼が0.45以上である。また温間加工におけるマグネシウム合金の加工硬化指数は0.20~0.05である。

50

【数 1】

$$\sigma = K\varepsilon^n$$

【0009】

しかし、市販モデル材料であるプラスティシンは、軟鋼の熱間加工における塑性変形状態に最適化されたシミュレーション用モデル材料である（n 値が 0.0 程度）。銅、アルミニウム合金、ステンレス鋼といったその他の金属材料や冷間や温間加工等の加工条件に最適化されたモデル材料はないため、プラスティシンを代用して使用しているが、n 値が異なるため解析結果は目安程度であり信頼性に欠ける。

10

【0010】

【特許文献 1】特開昭 58 - 79157 号

【特許文献 2】特許第 2812098 号

【特許文献 3】特許第 3345662 号

【特許文献 4】特開平 11 - 309538 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

モデル材料を用いた実験シミュレーションは、直視的で簡易なシミュレーション手法であり、少ない応力で変形する粘土状物質のモデル材料を使用することで模擬実験に使用される型も安価な樹脂製の型で十分である。しかしながら市販のモデル材料では数多くの金属材料やその加工条件に最適化されていないという問題点がある。

20

【0012】

本発明は、前記の課題を解決するためになされたもので、被加工材料の加工硬化指数が、- 0.60 ~ 0.50 の広い範囲を調整可能となる金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者らは、前述の問題を解決するために検討した結果、高分子物質、微粉末、界面活性剤からなる粘土状物質のうち、高分子物質の 25 での針入度が 30 ~ 150 の範囲で変化させるとモデル材料の加工硬化指数を調整できることを見出した。また、高分子物質と微粉末との配合比を変えることによってもさらに加工硬化指数を調整できることを見出した。ここで 25 での針入度は、高分子物質の硬軟を測定する評価温度のことであって、モデル材料の使用温度を限定するものではない。

30

すなわち、本発明は下記の金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料を提供するものである。

(1) 25 での針入度が 30 ~ 150 に調整された固形の高分子物質および平均粒子径 40 μm 以下の微粉末を含む粘土状物質 (A)、または、前記高分子物質、前記微粉末および界面活性剤を含む粘土状物質 (B) で、

前記粘土状物質 (A) は、前記高分子物質 10 ~ 99 質量% および前記微粉末 1 ~ 90 質量% を含有し、前記粘土状物質 (B) は、前記高分子物質 10 ~ 99 質量%、前記微粉末 1 ~ 90 質量% および前記高分子物質と前記微粉末の混合物 100 質量% に対して 0.5 ~ 5 質量% の界面活性剤を含有し、

40

前記高分子物質は、固形蠟、または、ステアリン酸、鉱物油、シリコンオイル、ロジンエステル、および石油樹脂から選択される 1 種類以上および前記固形蠟からなり、前記固形蠟は、パラフィンワックスまたはマイクロクリスタリンワックスであり、

前記微粉末は、タルク、蠟石、炭酸カルシウム、ガラス粉、珪石、珪灰石、酸化チタン、酸化鉄、硫酸バリウムおよびカーボンから選択される 1 種類以上であって、

加工硬化指数 (n 値) を - 0.60 ~ 0.50 に調整したことを特徴とする金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料。

50

## 【発明の効果】

## 【0014】

本発明によれば、ワックス等の固形蠟や動植物油脂、合成油脂、鉱物油、合成油、樹脂類等の数多くある高分子物質の組み合わせや配合割合を25における針入度と微粉末との配合比で管理すれば、従来の市販モデル材料では調整できなかった加工硬化指数（ $n$ 値）を幅広く調整することができ、より多くの金属材料や加工条件のシミュレーションに対応可能となるモデル材料を得ることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0015】

本発明において用いられる高分子物質は、固形蠟、または、ステアリン酸、鉱物油、シリコンオイル、ロジンエステル、および石油樹脂から選択される1種類以上および前記固形蠟からなり、前記固形蠟がパラフィンワックスまたはマイクロクリスタリンワックスであり、種類や組み合わせについては特に限定されない。しかしモデル材料を用いた模擬実験では主に圧縮加工するため、ある程度の変形に対して形状が壊れず、連続的に変形する必要がある。このため高分子物質の針入度が小さすぎる場合では、モデル材料が硬くて脆いために変形中に壊れてしまう。逆に針入度が大きすぎる場合では、モデル材料自体が過度に柔らかくなり、取り扱いの過程で変形するなどの問題が生じる。したがって、高分子物質の25での針入度が5～200であることが好ましいが、特にモデル材料の脆さや取り扱いの容易さの点から30～150であることが好ましい。

## 【0016】

微粉末は、金属、非金属の酸化物、炭酸化物、硫酸化物、炭素材料であって、タルク、蠟石、炭酸カルシウム、ガラス粉、珪石、珪灰石、酸化チタン、酸化鉄、硫酸バリウムおよびカーボンから選択される1種類以上が挙げられる。酸化チタンや酸化鉄、カーボンの顔料を使用することでモデル材料の着色も可能となる。また微粉末の粒度として、市販の上記粉末は平均粒子径が20 $\mu\text{m}$ 以下であることが多い。逆に平均粒径が40 $\mu\text{m}$ 以上の大きな粒子粉末では、高分子物質と混合した混合物が粘土状物質とならない場合がある。したがって少なくとも平均粒径で40 $\mu\text{m}$ 以下の粉末であることが好ましい。

## 【0017】

界面活性剤は、陽イオン、陰イオン、非イオン、両性イオン界面活性剤から選ばれた少なくとも1種類を単独で用いてもよく、2種類以上を組み合わせても良いが、特に非イオン界面活性剤が好ましい。これらの界面活性剤は高分子物質と微粉末との混ざりやすさに影響を及ぼすため、微粉末の配合量の増加に伴って多量の界面活性剤が必要となるが、その配合量としては、高分子物質と微粉末の混合物100質量%に対し0.5～5質量%の範囲が好ましい。

## 【0018】

本発明の金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料において高分子物質と微粉末との混合比は、高分子物質が全体の10～99質量%であることが好ましい。また微粉末の量が多くなるとモデル材料が脆くなる傾向があるため、模擬実験におけるモデル材料の脆さと延性の点から特に15～99質量%が好ましい。このときの微粉末の単独もしくは2種以上の混合物は残りの1～90質量%であることが好ましく、特に1～85質量%が好ましい。

## 【0019】

これらのモデル材料を製造するには、高分子物質と界面活性剤を予め加熱溶解し、均質な液体とした後、微粉末を加え均質な混合物となるようミキサーまたはニーダーで混練し、1軸押出機や2軸押出機などを用いることにより成形する。製造方法は上述に限定されるものではなく、高分子物質を加熱して均質な液体にすることなく、すべての原料を1度に加えて混練してもよい。またニーダー等で均質に混練した後、加熱溶解して、任意の形状の型へ流し込んで成形してもよい。加熱温度は、通常100～200の範囲で選ばれる。

## 【実施例】

## 【 0 0 2 0 】

以下、本発明の実施例を説明するが、本発明はこれらの実施例によって限定されるものではない。なお、各例における評価は以下の方法によって求めたものである。

## 【 0 0 2 1 】

## ( 1 ) 針入度

J I S K 2 2 3 5 ( 石油ワックス ) に規定される針入度試験方法に準拠して測定した。測定温度は 2 5 で行い、測定値は 3 回の平均値である。

## 【 0 0 2 2 】

## ( 2 ) 平均粒子径

レーザー回折・散乱式粒度分布測定装置を用いて、体積基準で平均粒子径を測定した。

10

## 【 0 0 2 3 】

## ( 3 ) 加工硬化指数 ( n 値 )

圧縮試験機を用いて、クロスヘッドスピード 1 m m / 秒、試験温度 2 5 で圧縮し、そのときの応力とひずみから数 1 の関係となる n 値を算出した。n 値が正の場合ではひずみ量が 0 . 1 以上、負の場合では降伏値以降のひずみ量でそれぞれ算出した。

## 【 0 0 2 4 】

## 実施例 1

日本精蠟 ( 株 ) 製マイクロクリスタリンワックス ( 商品名 Hi-Mic-1045 : 固形蠟 1 と略称 ) 2 0 質量 %、コスモ石油 ( 株 ) 製鉱物油 ( 商品名 コスモ SP70 ) 5 質量 %、荒川化学工業 ( 株 ) 製ロジンエステル ( 商品名 エステルガム H : 粘着付与樹脂 1 と略称 ) 5 重量 %、第一工業製薬 ( 株 ) 製非イオン系界面活性剤 ( 商品名 ノイゲン ET-129 ) 2 質量 % を加え 1 5 0 で加熱溶解した。均質な液体となった後、竹原化学工業 ( 株 ) 製炭酸カルシウム ( 商品名 SL-300 , 平均粒子径 5 . 0 μ m ) 5 0 質量 % と ( 有 ) 入来カオリン製タルク ( 商品名 IRK-085 , 平均粒子径 1 0 μ m ) 2 0 質量 % を加え、ニーダーで混練し均質な混合物とした。この混合物を 1 軸押出機で押し出し、直径 4 0 m m × 高さ 4 0 m m の円柱に成形しモデル材料の試験片とした。モデル材料の試験片にワセリンを薄く塗布し、圧縮試験機を用いてひずみと応力の測定を行い、加工硬化指数を算出した。高分子物質については、別途加熱溶解した試料を準備して針入度の測定を行った。各原料の配合比を表 1 に、評価結果を表 2 に示す。また応力とひずみの関係の関係を図 1 に示す。

20

## 【 0 0 2 5 】

## 実施例 2 ~ 1 7、比較例 1 ~ 3

表 1 に示す配合で試験片を作製した。新たに用いた原材料としては、日本精蠟 ( 株 ) 製パラフィンワックス ( 商品名 120 : 固形蠟 2 と略称 )、日本精蠟 ( 株 ) 製マイクロクリスタリンワックス ( 商品名 Hi-Mic-2095 : 固形蠟 3 と略称 )、和光純薬工業 ( 株 ) 製ステアリン酸 ( 油脂と略称 )、和光純薬工業 ( 株 ) 製白色ワセリン、東レ・ダウコーニング・シリコン ( 株 ) 製シリコンオイル ( 商品名 SH200 : 合成油と略称 )、荒川化学工業 ( 株 ) 製石油樹脂 ( 商品名 アルコン P-100 : 粘着付与樹脂 2 と略称 )、( 有 ) 入来カオリン製カオリン ( 商品名 IRK-KS、平均粒子径 4 . 0 μ m )、竹原化学工業 ( 株 ) 製蠟石 ( 商品名 カタルボ、平均粒子径 8 . 0 μ m )、東罐マテリアル・テクノロジー製ガラス粉 ( 商品名 フリット 12-3905M、平均粒子径 4 5 μ m )、福島釉薬 ( 株 ) 製珪石 ( 平均粒子径 1 3 μ m )、関西マテック ( 株 ) 製珪灰石 ( 商品名 ウォラストナイト KGP-H85、平均粒子径 8 . 5 μ m )、福島釉薬 ( 株 ) 製酸化チタン ( 平均粒子径 0 . 6 5 μ m )、福島釉薬 ( 株 ) 製酸化鉄 ( 平均粒子径 0 . 6 0 μ m )、和光純薬工業 ( 株 ) 製硫酸バリウム ( 平均粒子径 1 . 2 μ m )、和光純薬工業 ( 株 ) 製活性炭 ( 平均粒子径 1 6 μ m ) である。評価結果を表 2 に示す。実施例 2、5、8、9 および比較例 1 のひずみと応力の関係を図 2 ~ 6 に示す。

30

40

## 【 0 0 2 6 】

【表 1】

	固形蠟 1	固形蠟 2	固形蠟 3	油脂	鉱物油	ワセリン	合成油	粘着付与樹脂 1	粘着付与樹脂 2	カオリン	タルク	珪石	炭酸カルシウム	ガラス粉	珪石	珪灰石	酸化チタン	酸化鉄	硫酸バリウム	活性炭	界面活性剤	
実施例 1	20				5			5			20		50									2
実施例 2	20								10	20			50									2
実施例 3	20				5			5					50			20						2
実施例 4	11.5				3			3					82.5									2.5
実施例 5	20				5			5		70												2
実施例 6	50									15			35									1.5
実施例 7	99												1									0.1
実施例 8	7.5		11.5		4.5			9.5		19			48									2
実施例 9	40				11.5	7		11.5		10			20									1.5
実施例 10	20						5	5		20			50									2
実施例 11	19			4.8	4.8			4.8		19			47.6									2
実施例 12	20				5			5				20	50									2
実施例 13	20				5			5					50		20							2
実施例 14	20				5			5					50				20					2
実施例 15	20				5			5					50					20				2
実施例 16	20				5			5					50						20			2
実施例 17	20				5			5					60							10		2
比較例 1	10				5	10		5		20			50									2
比較例 2		30								20			50									2
比較例 3	30													70								2

【 0 0 2 7 】

【表 2】

	高分子物質の量 (質量%)	微粉末の量 (質量%)	針入度	加工硬化指数
実施例 1	30	70	102	0.10
実施例 2	30	70	73	0.02
実施例 3	30	70	102	0.20
実施例 4	17.5	82.5	98	0.33
実施例 5	30	70	102	0.50
実施例 6	50	50	30	-0.11
実施例 7	99	1	30	-0.19
実施例 8	33	67	52	-0.25
実施例 9	40	30	148	-0.62
実施例 10	30	70	105	0.08
実施例 11	33.4	66.6	81	-0.06
実施例 12	30	70	102	0.13
実施例 13	30	70	102	0.05
実施例 14	30	70	102	0.06
実施例 15	30	70	102	0.09
実施例 16	30	70	102	0.02
実施例 17	30	70	102	0.15
比較例 1	30	70	202	0.14 <sup>*1</sup>
比較例 2	30	70	17	× <sup>*2</sup>
比較例 3	30	70	30	× <sup>*3</sup>

【 0 0 2 8 】

(注)

- \* 1 : 比較例 1 はモデル材料が軟らかく取り扱いに注意が必要
  - \* 2 : 比較例 2 はモデル材料が硬いために、圧縮試験中に壊れて加工硬化指数の算出が困難
  - \* 3 : 比較例 3 は高分子物質に微粉末を加えても粘土状物質とならないため、測定不可
- 【産業上の利用可能性】

【0029】

本発明の金属の塑性加工シミュレーション用モデル材料は、被加工物の変形過程を数千分の一以下の小さい応力で再現できる材料で、実験的シミュレーションの模擬実験に使用できる。この結果、被加工材料の流動過程の解析や定量化が可能となり、鍛造加工、押出し加工等の塑性加工における、加工条件の最適化や金型設計のための基礎データ、加工欠陥の原因究明や工程改善などへ利用可能である。

10

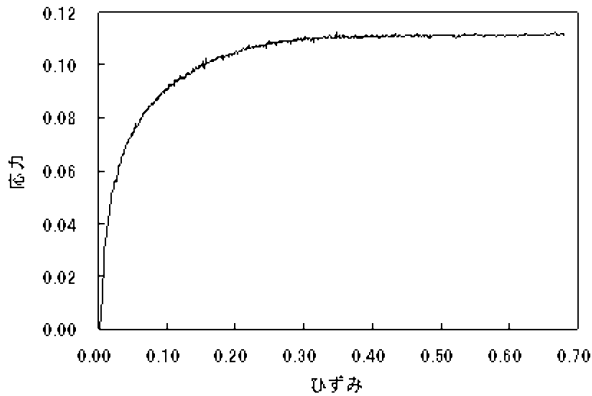
【図面の簡単な説明】

【0030】

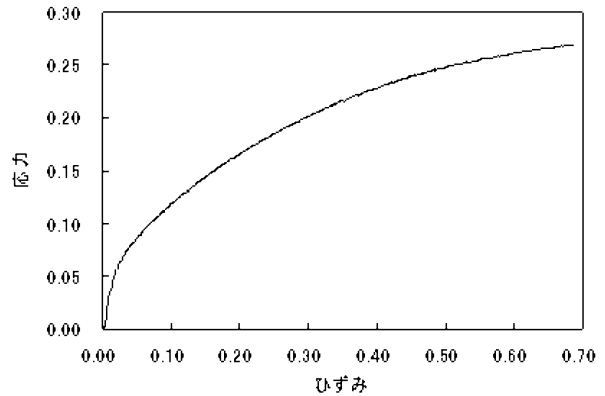
- 【図1】実施例1の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。
- 【図2】実施例2の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。
- 【図3】実施例5の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。
- 【図4】実施例8の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。
- 【図5】実施例9の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。
- 【図6】比較例1の試験片を圧縮試験したときの応力とひずみの関係である。

20

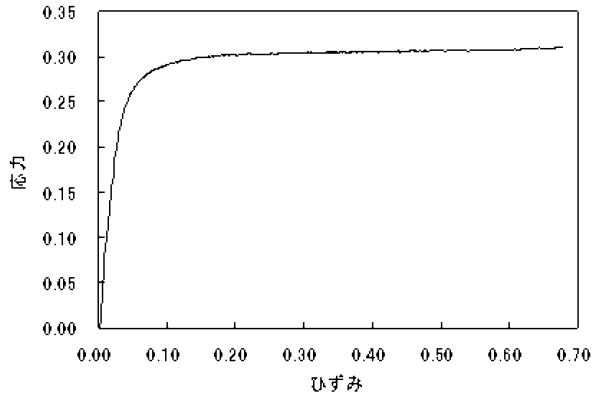
【図1】



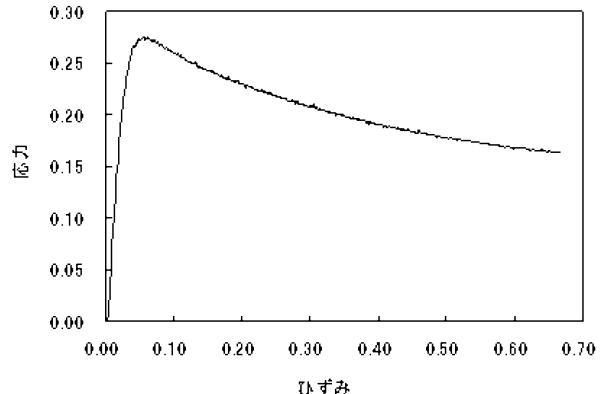
【図3】



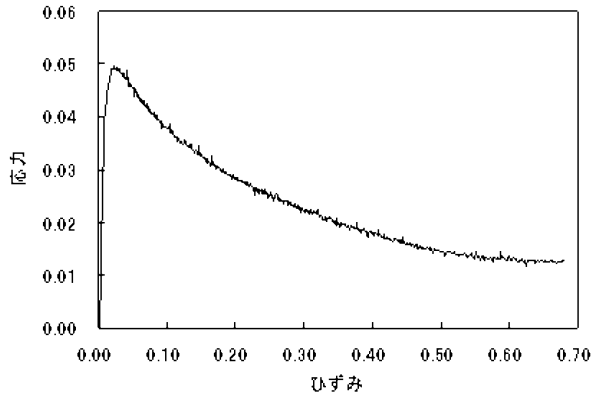
【図2】



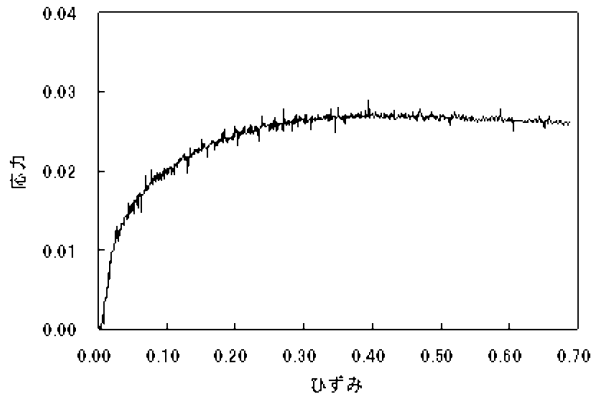
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】





## フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I
<i>C 0 8 L</i>	<i>83/04 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 L 83/04</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/34 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/34</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/26 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/26</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/40 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/40</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/22 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/22</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/30 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/30</i>
<i>C 0 8 K</i>	<i>3/04 (2006.01)</i>	<i>C 0 8 K 3/04</i>

- (56) 参考文献 特開昭 5 3 - 0 5 3 4 3 7 ( J P , A )  
 特開昭 5 7 - 1 8 2 3 6 8 ( J P , A )  
 特開昭 6 0 - 0 5 3 9 8 3 ( J P , A )  
 特開昭 6 2 - 2 5 9 0 3 8 ( J P , A )  
 特開昭 6 3 - 2 9 1 9 5 5 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 1 - 0 7 1 0 0 8 ( J P , A )  
 国際公開第 0 3 / 0 6 7 5 5 8 ( W O , A 1 )

## (58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)

I P C A 6 3 H 1 / 0 0 - 3 7 / 0 0  
 B 2 1 B 1 / 0 0 - 1 1 / 0 0  
 4 7 / 0 0 - 9 9 / 0 0  
 C 0 8 K 3 / 0 0 - 1 3 / 0 8  
 C 0 8 L 1 / 0 0 - 1 0 1 / 1 4