

# 平面ひずみ押し出し加工実験による Al および Al-Mg 合金に対するパーム油の潤滑評価

シャルライル サミオン\* 上谷 俊平\*\* 中西 賢二\*\*

Evaluation of RBD Palm Olein as Lubricant on Al and Al-Mg Alloys  
by Plane Strain Extrusion Test

Samion SYAHRULLAIL\*, Shunpei KAMITANI \*\* and Kenji NAKANISHI\*\*

RBD palm olein was tested as a lubricant for cold metal forming of Al and Al-Mg Alloys by using the plane strain extrusion experimental apparatus. Pure aluminum A1050, Al-Mg alloys A5052 and A5083 were used as workpieces. The experiments were carried out at room temperature 30°C. Paraffinic mineral oil was tested as a comparison of tribological performance of RBD palm olein. Visioplasticity method was used to analyze metal flow characteristic, velocity and effective strain in the deformation zone. The results show that RBD palm olein is capable to be used as lubricant with lower extrusion load and increment in relative velocity and effective strain as a merit, compare to paraffinic mineral oil.

**Keywords :** RBD palm olein, paraffinic mineral oil, extrusion, relative velocity, effective strain

## 1. 緒言

近年、環境に優しい潤滑剤への要求から、植物油が注目されている。植物油は無毒で、工業用潤滑油として使用する場合、生分解性が優れているので<sup>1)</sup>、使用後も環境問題への負荷は小さい。パーム油は、植物油脂の中では、栽培面積当りの生産量が最も多く、1年間平均 3.66 ton/haであり、大豆油やなたね油よりもそれぞれ 7 倍または 2.5 倍多いので、工業用潤滑油として十分供給できると考えられる<sup>2)</sup>。

著者らは、純アルミニウム A1050 (JIS) を被加工材として冷間平面ひずみ押し出し加工実験を行い、パーム油の塑性加工用潤滑剤としての特性を調べ、パーム油がパラフィン系鉱油より低

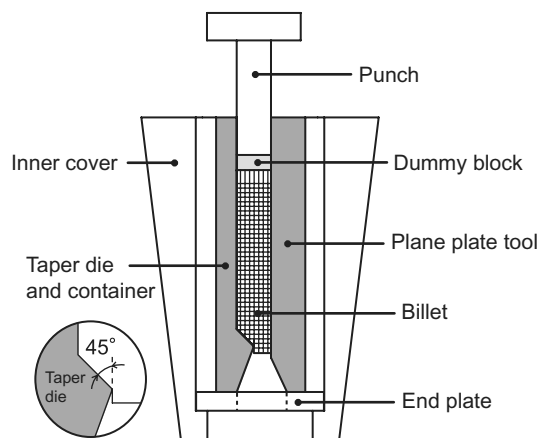
い押し出し荷重を示し、摩擦拘束を低減する傾向があること<sup>3)</sup>、低温度で、物理状態が液体状態から固体状態に変わっても、潤滑の性能には大きな影響が見られなかったことを報告した<sup>4)</sup>。

本報では、平面ひずみ押し出し加工実験装置<sup>5)</sup>を用いて、3種類の硬さが異なる被加工材、純アルミニウム A1050 (JIS)、Al-Mg合金 A5052 (JIS) 及び A5083 (JIS) を利用して、パーム油 (RBD palm olein) の潤滑評価を行った。評価のために、定常押し出し加工状態における被加工材 (ピレット) の試験面上の相対すべり速度と相当ひずみを格子線解析法<sup>6)</sup>を用いて算出するとともに、被加工材試験面の表面粗さ解析を行った。パーム油による結果を比較検討するために、同粘度のパラフィン系鉱油でも同様な実験・解析を行った。上記の実験解析により、パーム油はパラフィン系鉱油よりも、定常状態での押し出し荷重が低く、被加工材の試験面上の相対すべり速度と被加工材試験面の相当ひずみが

2006年8月31日受理

\* 博士後期課程物質生産工学専攻

\*\* 機械工学科



図－１ 平面ひずみ押し加工実験装置

大きくなることを明らかにしたので報告する。

## 2. 実験条件

### 2.1 実験装置

図－１に本実験で使用した平面ひずみ押し加工実験装置を示す。装置の主な構成はテーパダイ（Taper die）、平面工具（Plane plate tool）と被加工材（ビレット）からなる。テーパダイはコンテナおよびダイス半角  $45^\circ$  の金型が一体構造の工具になっている。本装置は、押し加工過程において、ビレットがテーパダイ側では強制的に塑性流れの方向を変えてせん断変形と摩擦拘束を受けるのに対して、平面工具側では、真直ぐな工具面を持ち、工具面の摩擦拘束だけを受けるといった特徴を持つ。

### 2.2 潤滑油

本実験では、試験用潤滑油として脱酸・脱色・脱臭の精製過程を経たパームオレイン（RBD palm olein：以下、パーム油 PO と表記）を使用した。また、パラフィン系無添加基油 VG32（以下、パラフィン系鉱油 P2 と表記）を使用してパーム油 PO と同様の試験・解析を行い、比較検討を行った。パーム油 PO とパラフィン系鉱油 P2 の潤滑油特性を表－１に示す。

### 2.3 実験条件

平面工具とテーパダイの材質は冷間金型用合金工具鋼 SKD11 で焼入れ、焼戻しを施した。それぞれの試験前のビッカース硬さは 680HV である。ビレットと平面工具の接触する面を試

表－１ パームオレイン P0 とパラフィン系鉱油 P2 の潤滑油特性

	P2	PO
FFA (m.w.256, Palmitic)	–	Max 0.1%
IV	–	Min 56
Viscosity grade	VG32	–
Melting point (°C)	-12.5°C	Max 24°C
Flash point (°C)	220°C	–
Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	40°C	31
	30°C	41
		34
		46

表－２ 実験条件

Material of taper die and plane plate tool	SKD11
Material of billet	JIS-A1050 (21HV)
	JIS-A5052 (54HV)
	JIS-A5083 (76HV)
Ra of experimental surface of billet	0.3 μm
Lubricants	Paraffinic mineral oil (P2)
	RBD palm olein (PO)
Applied quantity	5 mg (0.48 mg/cm <sup>2</sup> )
Extrusion ratio	2
Piston stroke	30 mm
Paraffinic mineral oil VG460 was applied on the container wall	

験面とし、耐水研磨紙を用いて、平面工具試験面を算術平均粗さ Ra で 0.05μm に仕上げた。金型開口部は押し比 2 に設定した。

ビレットの材質は工業用純アルミニウム A1050 と工業用 Al-Mg 合金 A5052 及び A5083 で、焼鈍を行い、それぞれのビッカース硬さは 21HV、54HV と 76HV である。平面工具試験面に接触するビレット面（ビレット試験面）は耐水研磨紙で算術平均粗さ Ra で約 0.3μm に仕上げた。ビレットは 2 枚合わせて使用した。金型内部のビレット塑性変形機構を検討するため、ビレットの合わせ面（分割面）の一方に 1mm 間隔で幅 0.1mm、深さ 0.05mm の V 字溝による正方格子模様をけがき加工した。試験用潤滑油は工具試験面に分析用電子天びんを用いて、5mg (0.48mg/cm<sup>2</sup>) を塗布した。ビレットに接触する試験面以外の金型面にはパラフィン系無

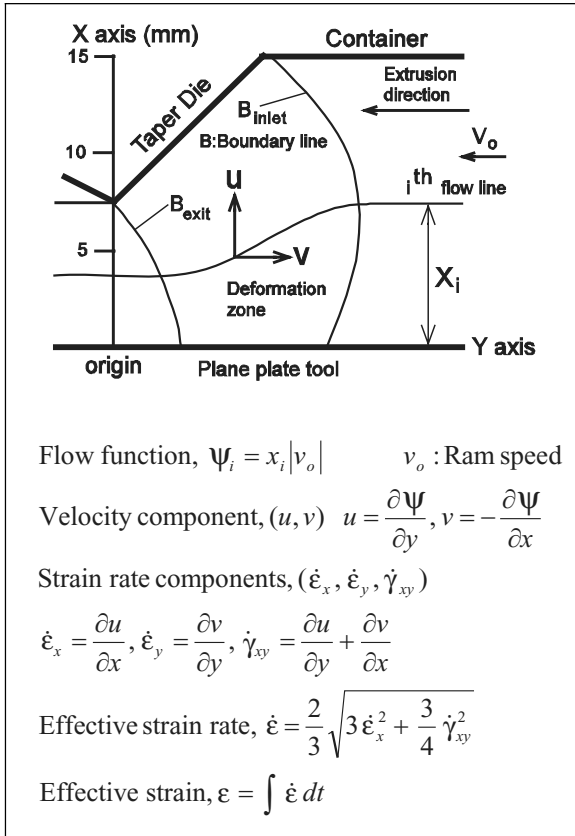


図-2 格子線解析で使した座標系と基礎式

添加基油 VG460 を毎回の実験でほぼ同じ塗布量になるように塗布して実験を行った。それぞれの実験条件は表-2 に示す。

## 2.4 実験方法と解析手順

平面ひずみ押し加工実験装置を用いて、30トン複動油圧プレスによる冷間平面ひずみ押し加工実験を行った。押し速度が一定になり、材料の変形が定常状態になった後（本実験の場合は押し変位 30mm）、実験を停止し、実験装置を分解してビレットを取り出した。

押し実験中の押し荷重と押し変位は荷重変換器と変位センサーにて測定し、動ひずみ増幅器で増幅した後、アナライジングレコーダーで記録した。実験装置から取出したビレットの分割面に加工した格子線のゆがみを写真に撮り 10 倍に拡大して、その流れ線をデジタルしてコンピュータに取込み、格子線解析法<sup>6)</sup>によって塑性変形機構解析を行った。また、実験後のビレット試験面の表面粗さ（算術平均粗さ Ra）の測定も行った。格子線解析で使した座

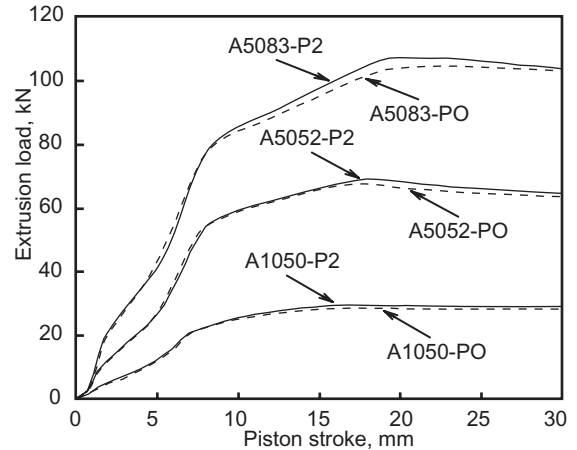


図-3 押し荷重-変位曲線

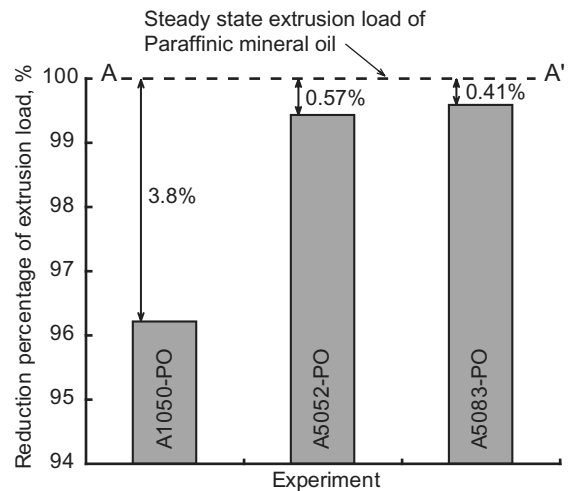


図-4 パラフィン系鉱油 P2 に対するパーム油 PO の押し荷重増減率

標系と基礎式は図-2 に示す。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 押し荷重

各実験条件の押し荷重-押し変位曲線を図-3 に示す。押し荷重は A5083 > A5052 > A1050 の順番になっており、ビレットの硬さが高いほど、押し荷重が高くなっている。パラフィン系鉱油 P2 と比較すると、パーム油 PO の押し荷重が低いのがわかる。定常押し状態（押し変位 30mm）のパラフィン系鉱油 P2 の押し荷重を 100% として（破線 A-A'）、パラフィン系鉱油 P2 とパーム油 PO の押し荷重の

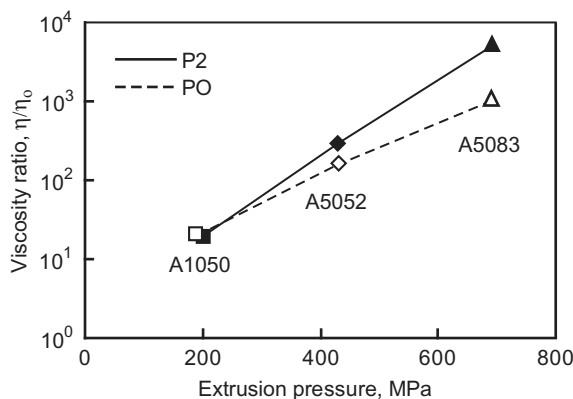


図-5 パラフィン系鉱油 P2 とパーム油 PO の加工圧力-粘度関係

$$\Delta L = \frac{L_{P2} - L_{PO}}{L_{P2}} \times 100\% \quad (1)$$

$\Delta L$  = Extrusion load different

$L_{P2}$  = Extrusion load of Paraffinic mineral oil P2

$L_{PO}$  = Extrusion load of RBD palm olein PO

差を百分率（式（1））で示したものを図-4に示す。ビレットの硬さが低い A1050 の場合、パーム油 PO はパラフィン系鉱油 P2 に比べて定常状態押し荷重が約 3.8% 低くなる。A5052 と A5083 の場合は、パーム油 PO の定常状態押し荷重がそれぞれ、約 0.57% と 0.41% パラフィン系鉱油 P2 よりも低下した。

被加工材 A1050 の場合、パーム油 PO の方がパラフィン系鉱油 P2 よりも押し荷重が低くなったのは、パーム油 PO に含まれる脂肪酸が摩擦拘束低減に有効に作用したことによると考えられる。すなわち、実験後のビレット試験面出口付近の算術平均粗さ Ra は約 0.05 $\mu\text{m}$  で、平面工具面とほぼ同じ値であるので、素材と平面工具面の潤滑状態は境界潤滑状態の占める割合が大きな混合潤滑状態であり、パーム油 PO に含まれた脂肪酸の吸着力が薄い油膜を保持する役割を果たしたと考えられる<sup>7), 8)</sup>。

被加工材 A5052 及び A5083 の場合、K. Takatsuka ら<sup>9)</sup>が紹介した圧力-粘度式から算出した図-5 の加工圧力と粘度の関係からわかるように、加工圧力が低い場合、パーム油 PO とパラフィン系鉱油 P2 の粘度には大きな差がないが、加工圧力が高くなると、パーム油 PO よりもパラフィン系鉱油 P2 の粘度が高くなる

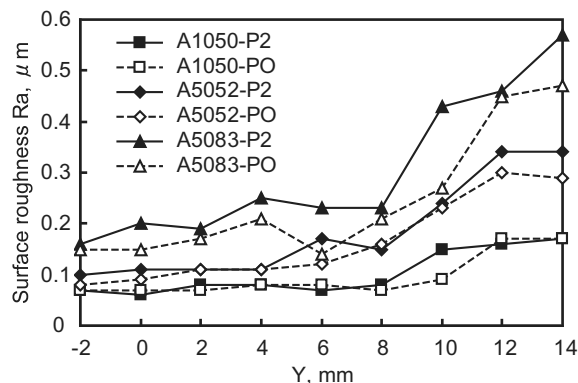


図-6 各実験条件におけるビレット試験面の算術平均粗さ Ra

ことがわかる。

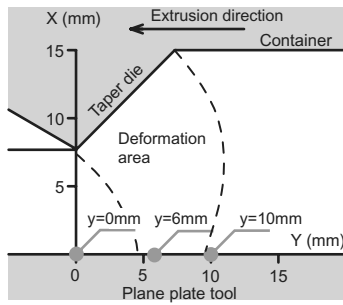
このことから、A5052 と A5083 でパーム油 PO よりパラフィン系鉱油 P2 の荷重が高くなったのは、加工中の潤滑油粘度増大による油膜のせん断抵抗の増加によると考えられる。ただし、A5052 と A5083 で大きな差が生じなかったのは、粘度の影響の大きな A5083 では、図-6 に示すようにパーム油 PO よりパラフィン系鉱油 P2 の表面粗さが大きくなっており、これにより油膜のせん断抵抗への粘度増大の効果が打ち消されたためと考える。

### 3.2 ビレット試験面算術平均粗さ Ra

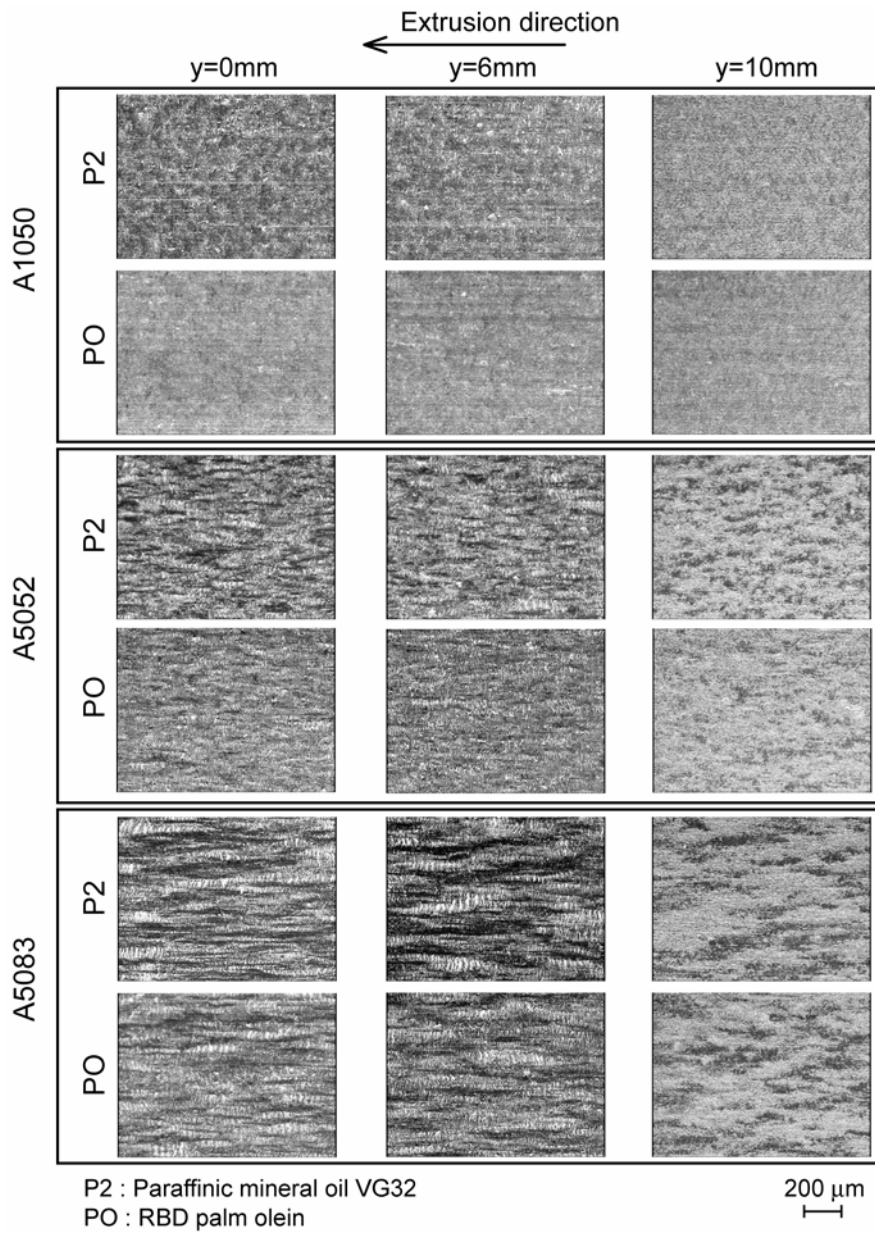
各実験条件のビレット試験面算術平均粗さ Ra 分布を図-6 に示す。各実験条件のビレット試験面製品側 ( $y = 4\text{mm} \sim y = -2\text{mm}$ ) の表面粗さ Ra は、被加工材 A1050 で約 0.08 $\mu\text{m}$  である。被加工材 A5052 と A5083 の場合は、それぞれ約 0.1 $\mu\text{m}$  と 0.15 $\mu\text{m}$  になっており、ビレットの硬さが大きいほど試験面表面粗さが大きくなる傾向を示している。これは、押し加工初期において金型内でスクイズ膜が形成され、粘度が高いほど潤滑油が接触面から流出しにくい状態になるため、図-5 から分かるようにビレット硬さの大きい被加工材ほど油膜粘度が高くなり、厚い油膜が形成されて表面粗さが大きくなったと考えられる。A5083 において、特に潤滑油により表面粗さに違いが生じているが、高圧における粘度の違いに起因すると考える。

### 3.3 ビレット試験面表面写真の観察

図-7 の写真は、 $y=0\text{mm}$ 、 $y=6\text{mm}$  と  $y=10\text{mm}$



(a) ビレット試験面付近の撮影位置



(b) 各位置のビレット試験面 CCD 写真 (200 倍率)

図-7 ビレット試験面 CCD 写真

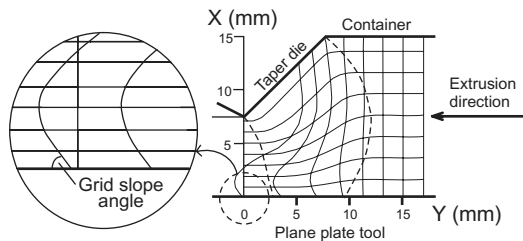


図-8 ビレット試験面近傍の格子縦線の傾き角度の測定方法

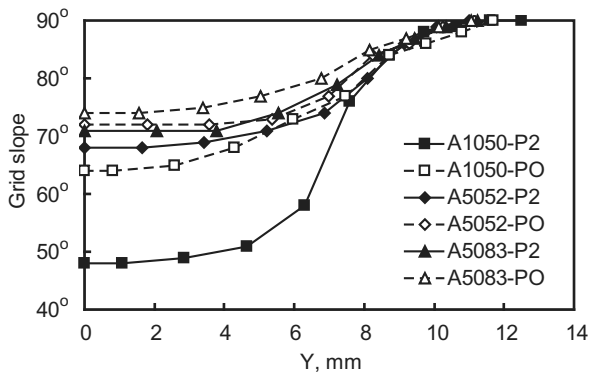


図-9 ビレット試験面近傍の格子縦線の傾き角度分布

のビレット試験面を CCD カメラで撮影したものである。 $y = 0\text{mm}$  はビレット製品表面となり、 $y = 6\text{mm}$  は加工変形領域出口付近で、 $y = 10\text{mm}$  は加工変形領域入口側未変形領域となる。被加工材が硬くなるほど、試験面表面状態が粗くなっている様子が観察できる。同じ材料同士で表面状態を比較すると、パラフィン系鉱油 P2 よりも、パーム油 PO の方が若干平滑な表面になっていることがわかった。

### 3.4 ビレット試験面付近の格子線観察

図-8 のように、各実験条件のビレット試験面近傍の縦線の傾き角度を求め、試験面の各位置に対してプロットしたものを図-9 に示す。図に示す格子線の縦線の試験面近傍の傾きが小さいほど、試験面において押し出し方向と逆方向に摩擦拘束を大きく受けていたことになるので、ビレットの格子線のゆがみから試験面における摩擦抵抗の影響を予想できる。

潤滑油にかかわらず、ビレットの硬さが大きくなると、ビレット試験面近傍の縦線の傾き角度が大きくなる。ビレット硬さが最も小さい

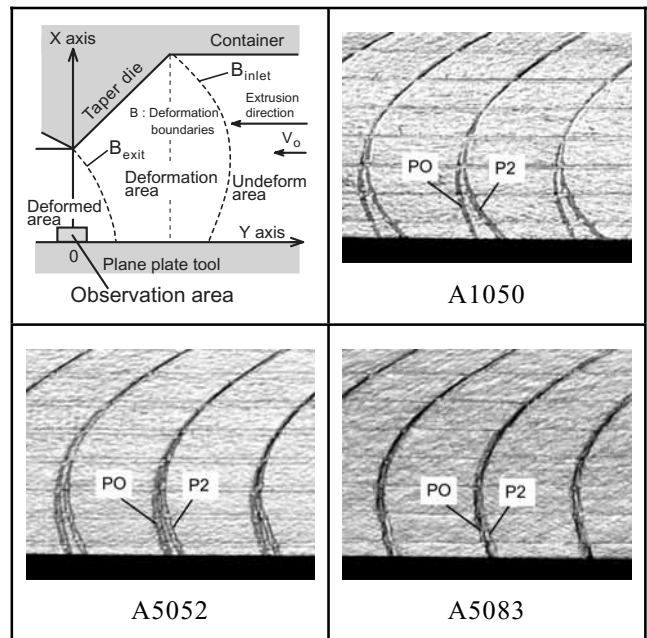


図-10 各実験条件における試験面出口付近の格子縦線を重ねた写真

A1050 の場合、パラフィン系鉱油 P2 のビレット試験面近傍の縦線傾き角度は約  $48^\circ$ 、パーム油 PO が約  $63^\circ$  となり、大きな違いを示す。ビレット A5052 と A5083 の場合、縦線の傾き角度はパラフィン系鉱油 P2 よりパーム油 PO の方がわずかに大きくなっている。

各実験条件のビレット試験面出口付近の格子線を重ねた写真を図-10 に示す。図より、パラフィン系鉱油 P2 とパーム油 PO の縦線の傾きの違いが、特に A1050 の場合に最も大きくなっているのがわかる。

### 3.5 ビレット試験面相対すべり速度

各実験条件の変形領域内のビレット試験面における相対すべり速度 ( $V/V_o$ ) 分布を図-11 に示す。ここで  $V$  は  $y(\text{mm})$  における塑性流れ速度、 $V_o$  は定常押しプレスラム速度 (押し出し速度) を意味する。

ビレット A1050 の場合、パラフィン系鉱油 P2 よりパーム油 PO の方がビレット変形領域内の試験面付近の相対すべり速度が速くなるが、ビレット A5052 と A5083 の場合、大きな差異が見られない。

各材料について、パラフィン系鉱油の  $y=7\text{mm}$  の相対すべり速度に対して、パーム油 PO の相対すべり速度の増加率を計算したところ、被加

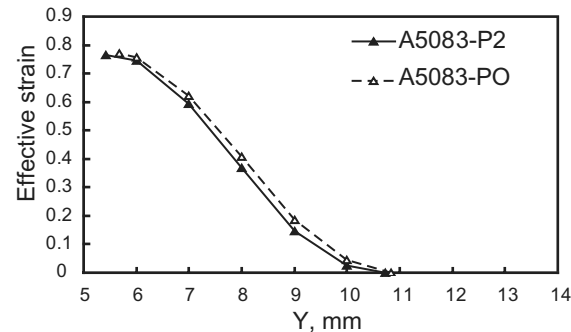
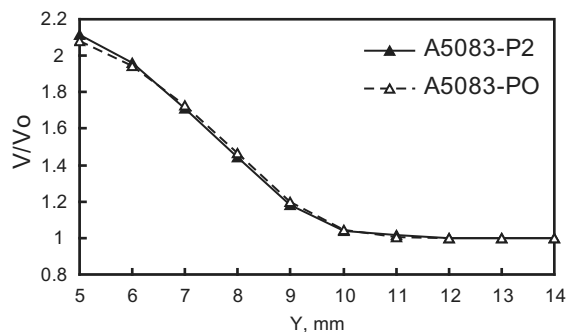
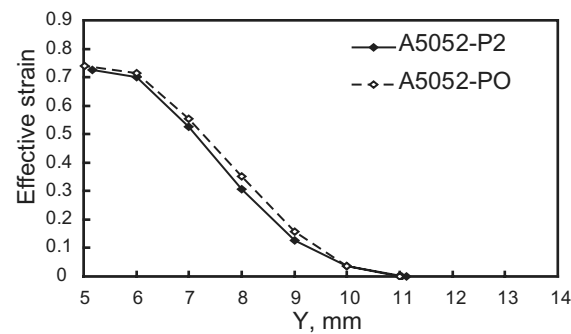
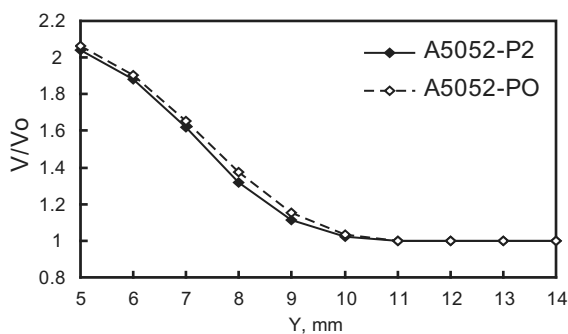
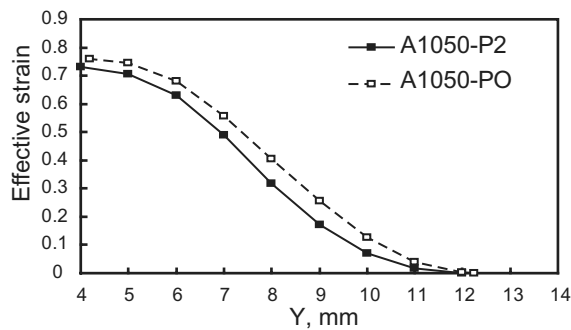
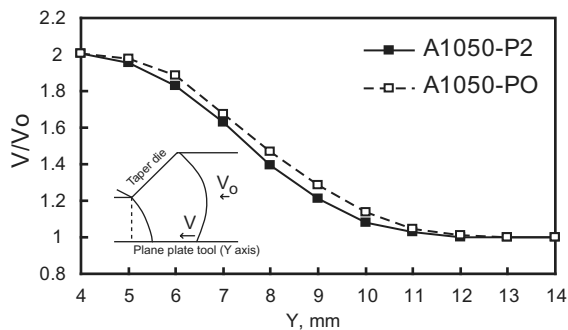


図-1 1 各実験条件における試験面上の相対すべり速度分布

図-1 2 各実験条件における試験面上の相当ひずみ分布

工材 A1050 の場合、相対すべり速度は約 3% 増加した。被加工材 A5052 と A5083 の場合には、大きな差異はみられなかった。

は、A1050 の場合に最も差異がみられ、約 3.5% の増加であった。

### 3.6 ビレット試験面相当ひずみ分布

各実験条件のビレット試験面付近の相当ひずみ分布を図-1 2 に示す。各実験条件において、パラフィン系鉱油 P2 より、パーム油 PO の方がビレット試験面付近の相当ひずみが大きくなっている。ビレット A1050 の場合、ビレット試験面付近の相当ひずみの違いがはっきりわかるが、ビレット A5052 と A5083 の場合、差異がわずかである。

各実験条件のパラフィン系鉱油 P2 に対するパーム油 PO の試験面上の相当ひずみの増加率

## 4. 結論

冷間平面ひずみ押し出し加工実験装置を用い、純アルミニウム A1050、Al-Mg 合金 A5052 および A5083 を被加工材として、パーム油の潤滑評価を行い、以下の結論を得た。

1. パーム油 (RBD palm olein) PO は、パラフィン系鉱油 P2 と比較して、押し出し荷重が低くなり、ビレット試験面相対速度が速くなり、ビレット試験面付近の相当ひずみが大きくなる傾向を示した。
2. A1050 と A5052 のビレット試験面表面粗さ

- Ra は、パーム油 PO とパラフィン系鉱油 P2 では大きな違いがみられないが、A5083 の場合、パーム油 PO よりパラフィン系鉱油 P2 の表面粗さ Ra が大きくなった。
3. パラフィン系鉱油 P2 と比較したパーム油 PO の押し出し荷重の減少率、ピレット試験面上の相対すべり速度および相当ひずみの増加率は  $A1050 > A5052 > A5083$  であった。
  4. パーム油 PO は冷間押し出し加工用潤滑油として利用できる。A5052 と A5083 よりも A1050 において、パーム油 PO の摩擦低減効果が明確に現れた。

- 8) (社) 日本塑性加工学会編：塑性加工におけるトライボロジー、コロナ社、pp.127 (1988)
- 9) K.Takatsuka, S.Matsuo, T.Matsushita and K.Matsui, Viscosity Changes of Rolling Oils Under High Pressure and Their Influence on Lubrication in Rolling, Lubrication in Metalworking, tech. Akademie Esslingen, Germany (1983)

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、本学中央実験工場の技術職員の方々には、金型および試験片製作に関してご協力いただきました。厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 小宮 広志、植物油系生分解性グリースの現状と技術動向、月刊トライボロジー、216(8)、pp.28-31 (2005)
- 2) K.K.Ming and D.Chandramohan, Malaysian Palm Oil Industry at Crossroads and its Future Direction, Malaysian Palm Oil Board (MPOB), pp.10-15 (2002)
- 3) シャルライル サミオン、中西 賢二、上谷 俊平、平面ひずみ押し出し加工によるパーム油あるいはパラフィン系鉱油潤滑の摩擦拘束が塑性変形に及ぼす影響の解析、トライボロジスト、50、12、pp.55-63 (2005)
- 4) シャルライル サミオン、上谷 俊平、中西 賢二、平面ひずみ押し出し加工実験によるパーム油の潤滑特性の検討、鹿児島大学工学部研究報告、47、 pp.7-13 (2005)
- 5) 上谷 俊平、中西 賢二、郭 永明、バルク塑性変形とすべりを伴うアルミニウム加工表面近傍の塑性流動と表面粗さの検討、トライボロジスト、47、1、pp.52-60 (2002)
- 6) 中西 賢二、岡村 俊一、中村 正久、格子法と流動応力推算の数値計算法を用いたアルミニウムの軸対称熱間押し出し加工の解析、塑性と加工、18、203、pp.990-998 (1977)
- 7) F.P.Bowden & D.Tabor (訳：曾田範宗)：固体の摩擦と潤滑、丸善、pp.169 (1994)