

(技術資料)

# 鉛フリー切削用アルミニウム合金 KE シリーズ

吉原伸二・平野正和 (工博)

アルミ・銅カンパニー・長府製造所・アルミ押出研究室

## Free Cutting Aluminum Alloys without Lead Addition : KE Series

Shinji Yoshihara · Dr. Masakazu Hirano

New lead free machinable alloys, KE6 and KE2, which have high machinability, corrosion resistance and recyclability, have been developed through the addition of Si to Al-Mg-Si or Al-Cu system alloys. The mechanism of fine chip formation is as follows: plastic strain is introduced around hard Si particles, due to cutting forces produced in chip formation. Cracked Si particles promote crack propagation across chips thereby improving the overall machinability. KE6 and KE2 are expected to be useful for applications such as ABS brake parts, OA parts, and other kinds of machined parts.

まえがき = 従来の切削用アルミニウム合金 (以下 Al 合金) は、被削性向上、すなわち切りくずの折断性を高めるために Pb, Bi および Sn などの低融点金属を合計 1% 程度添加した 2011 合金や 6262 合金が使用されており、自動車部品や一般機械部品市場で多くの実績がある。しかしながら、近年地球環境保全要求の高まりを受け、有害成分と考えられている Pb の添加元素としての使用を規制する動きがある。たとえば国内では 1997 年 4 月に通産省が「品目別廃棄物処理・再資源化ガイドライン」にて、自動車と単車の Pb 使用量削減に関する数値目標の設定をおこなった。また欧州では「電気電子部品に関する欧州指令」にて、2004 年より Pb を含む材料の使用が規制される予定である。

このような動きのなか、Pb 無添加で被削性の優れた材料の開発が強く求められている<sup>1)</sup>。本稿では、従来の Pb, Bi を添加した 2011 および 6262 の代替材として開発した Pb フリー切削用 Al 合金 KE (Kobe Ecology) シリーズの諸性能について報告する。

### 1. 合金開発のコンセプト

Pb フリーの考え方には二通りがある。一つは Pb 以外の低融点金属である Bi, Sn および In を添加して、

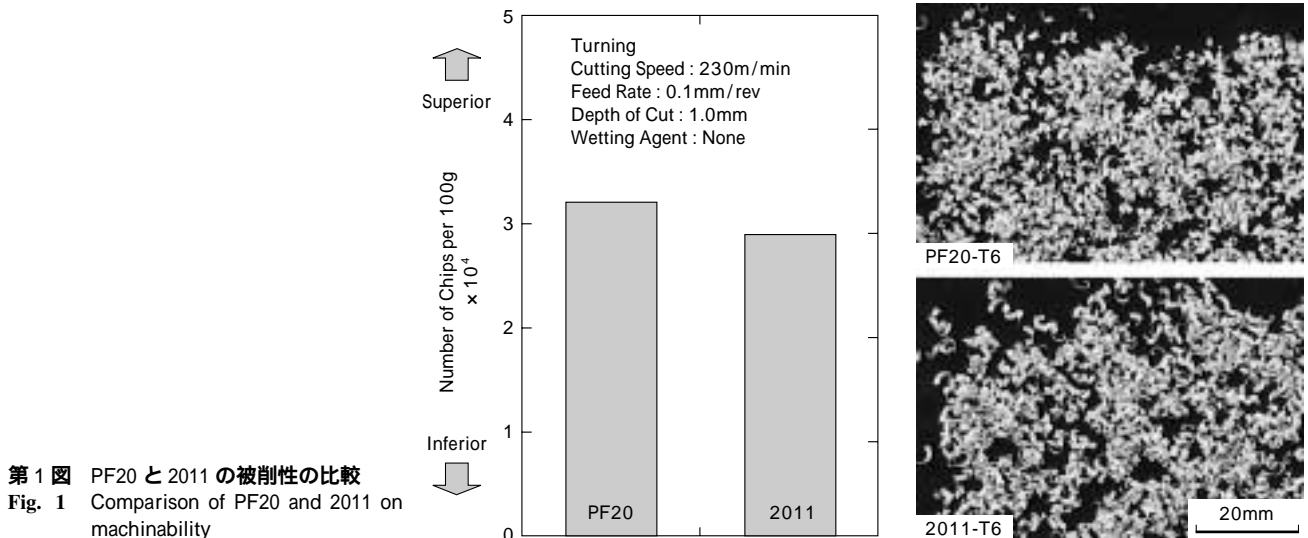
被削性を向上させる方法で、二つ目は低融点金属を添加せずに被削性を向上させる方法である。まず、前者の低融点金属元素を添加する方法については従来より詳細に調査されており、第 1 表<sup>2)</sup>のようにまとめられている。

すでに当社では、Pb を添加せずに代わりに Sn および Bi を組合せて添加した 2000 系合金 PF20 (Pb Free) を開発している。本合金の被削性の一つの指標である切りくず折断性を第 1 図に示す。ここで切りくず折断性は、切りくず 100g あたりの個数を計測し、数が多いものほ

第 1 表 Al に添加される低融点金属の組合せと融点<sup>2)</sup>

Table 1 Melting point of additive element and its intermetallic compounds

	Bi	Cd	In	Pb	Sn
Bi	271.3	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 60\%Bi \\ 144 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 34\%Bi \\ 72 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 56.5\%Bi \\ 125 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 57\%Bi \\ 139 \end{matrix}$
Cd		320.9	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 26\%Cd \\ 123 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 17.4\%Cd \\ 248 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 32\%Cd \\ 177 \end{matrix}$
In			156.6	$\begin{matrix} 156.6 & 327 \\ \curvearrowright & \\ In & Pb \\ 176.3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 48\%In \\ 117 \end{matrix}$
Pb	Ternary Eutectic 52.0Bi - 32.0Pb - 16.0Sn : 95 53.9Bi - 25.9Sn - 20.2Cd : 102.5 30.6Pb - 51.2Sn - 18.2Cd : 143			327.4	$\begin{matrix} \curvearrowright \\ 38.1\%Pb \\ 183 \end{matrix}$
Sn					231.9



第 1 図 PF20 と 2011 の被削性の比較  
Fig. 1 Comparison of PF20 and 2011 on machinability

ど優れると判定した<sup>3)</sup>。第1図よりPF20は従来のPb、Biを添加した2011と同等の切りくず折断性を有することがわかる。しかしながら、Alの場合、添加されたSnやBiなどの低融点金属は、耐食性を劣化させるため高耐食性を要求されるような製品には配慮が必要な場合がある。またSn、Biなどの重元素を含むため、展伸材へのリサイクル性に不利になる可能性を含んでいる。

そこで当社では、前述の後者の方法、すなわちこれら低融点金属をまったく含まない、地球環境に優しい新しい切削用アルミニウム合金の開発に取り組んできたが、このたび、従来のPb、Biを添加した6262および2011と同等の被削性を有しながら、さらに耐食性の向上を実現したKE (Kobe Ecology) 合金シリーズを開発した。

KE合金は現在、2011の代替を狙った2000系のKE2合金および6262の代替を狙った6000系のKE6合金の二種類をシリーズ化している。その特長は以下のとおりである。

#### 1) 化学成分

有害成分であるPbをまったく含有しないので、環境にやさしく、展伸材へのリサイクル性に優れ、また廃棄処分も容易である。

#### 2) 被削性

適正な切削条件を選定することにより、Pbを添加した従来合金に匹敵する切りくず折断性を示す。

#### 3) 耐食性、陽極酸化処理性

Pbを添加した従来合金よりも、耐食性および陽極酸化処理性に優れている。

#### 4) 強度

従来合金と同等以上の強度を有する。

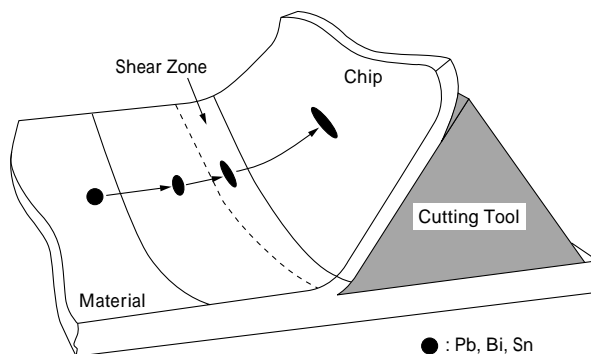
これらの特長について以下に詳述する。

### 2. 切りくず折断機構

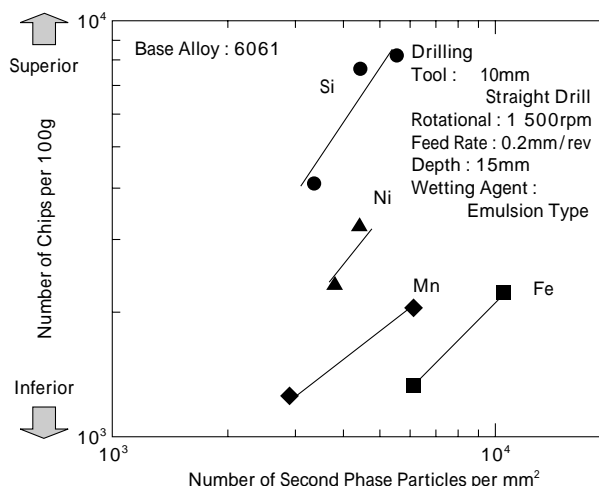
従来の切削用Al合金は、添加したPbとBiの化合物が、マトリックス中に5~10 $\mu$ m程度の第二相微細粒子として分散している。第2図に切削加工時の切りくずの生成過程および材料中に分散している第二相粒子の挙動のモデル図を示す。Pb-Bi化合物粒子は、切削加工時の発熱により、その融点である125 $^{\circ}$ Cで溶融し切りくずを脆くさせる。この溶融脆化作用<sup>4)</sup>により、小さな切りくずを生成し、工具への切りくずの絡み付きや製品への損傷などの切削加工上の問題を解消していた。

しかしながら、上記のようにPb使用が制限されるといった動きのため、Pbフリーで切りくずを折断させる機構について検討した。第二相粒子を適正に均一分散させ、切削加工時に切りくずに発生する歪みをこの第二相粒子に集中させて、切りくずを脆化させる方法である。

第3図は代表的な6000系合金である6061合金をベース材に、Si、Ni、FeおよびMnを添加した場合の、切りくず折断性に及ぼす第二相粒子の影響を示したものである。合金中のそれぞれの第二相粒子が増えると、切りくず折断性が向上し、このうちSi粒子がもっとも優れることが分かる。写真1にSi添加材の切りくず断面のSEM観察結果を示すが、Si粒子自体が脆性破壊している様子が観察される。これは、切削加工にてマトリック



第2図 切りくず生成機構と第二相粒子の挙動  
Fig. 2 Schematic illustration of chip formation



第3図 合金中の第二相粒子の数と切りくず折断性の関係  
Fig. 3 Relationship between number of second phase particles and number of chips

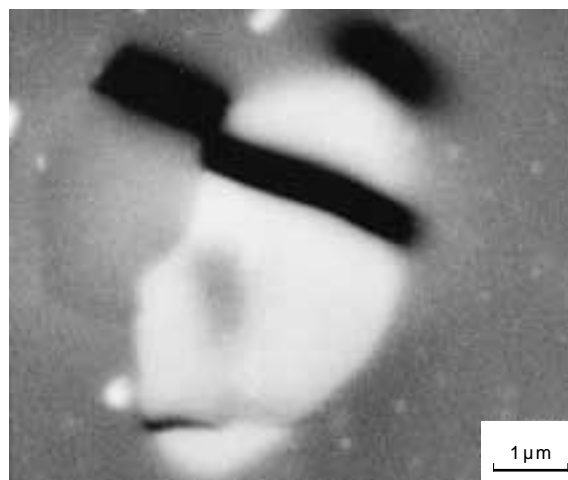
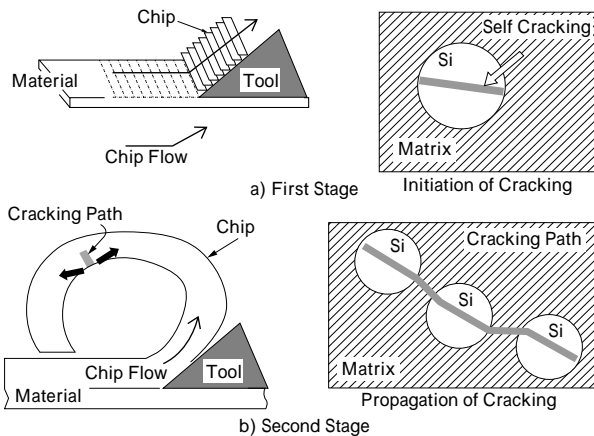


写真1 切りくず断面中に観察されたSi粒子の割れ  
Photo 1 Cracked Si particles in chip cross section of Si bearing aluminum alloy

スが塑性変形して、Si粒子に応力が集中し、Si粒子自体が破壊したものと推定される。

以上より、切削加工時の切りくず折断機構を第4図に示す。まず第4図a)のように、切りくず生成の第一段階で切りくず内部に塑性歪みが入る。この際Si粒子は塑性変形しないので、高い内部応力が発生し、Si粒子自体に割れが導入される。続いて第二段階の第4図b)では、切りくずは工具のすくい面に沿ってカール運動していき、工具逃げ面あるいは被削材自体に衝突すること

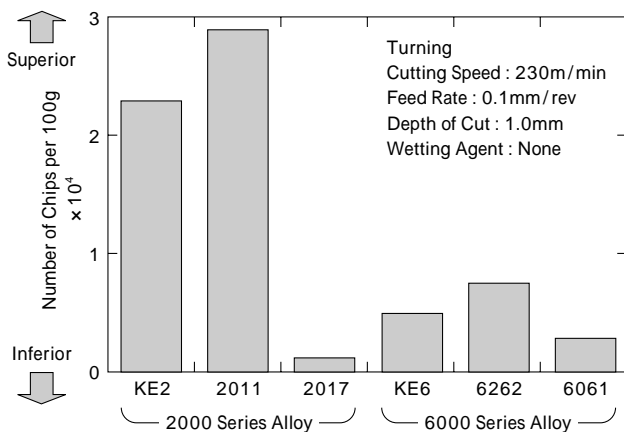
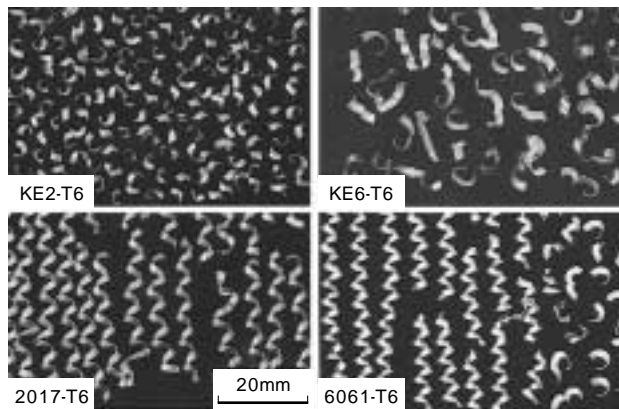


第4図 切りくず折断機構  
Fig. 4 Schematic illustration of chip breaking mechanism

で、カールした内面に引張応力が発生する<sup>5)</sup>。  
この引張応力により、第4図a)の段階で切りくず内部に導入されたSi粒子自体の割れに応力が集中し、Si粒子伝いにき裂が伝播することで、最終的な切りくず折断にいたるものと推定される。工業的には、Siおよびその他微量添加元素を組み合わせ、さらに添加量と熱処理条件を厳しく管理して、優れた切りくず折断性を持たせることに成功した。

### 3. 切りくず折断性

第5図に、切削試験でえられた切りくずの形状とその単位重量あたりの個数を示す。個数が多いものほど小さい切りくずが生成しており、切りくずの処理性に優れ



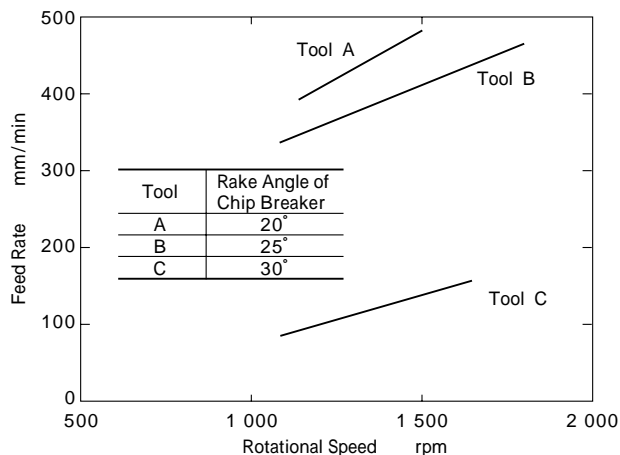
第5図 KE合金と従来合金の被削性比較  
Fig. 5 Comparison of KE2, KE6 and conventional alloy on machinability

ていることを示している。2000系合金の場合、JIS2017にくらべ、KE2は従来のPb、Bi添加の2011に匹敵する優れた切削性能を示すことが分かる。6000系合金の場合、JIS6061が連続型の切りくずが多く見られるのに対し、KE6は従来のPb、Bi添加の6262に匹敵する小さい切りくずを生成しているのが分かる。なお、KE合金の切削抵抗は従来のPb添加材とほぼ同じであり、工具寿命も同等である。

### 4. 最適な切削条件の選択

一般に切りくずの形状は、工具の形状、切削速度、送り量および切り込み量などの切削条件により多様に変化し、さらに切削される材料の成分や熱処理などの条件によっても影響を受ける。KE合金は、従来のPb、Bi添加合金と切削機構が異なるため、加工される製品によって適正な切削条件を選択することが望ましい。

第6図は、KE合金の切りくず折断性能を十分に発揮させるための、工具および切削条件例である。各工具での切りくず折断領域の限界線を示しており、限界線より上側の条件では分断した切りくずが生成し、下側の条件では連続切りくずが生成する。工具条件としては、チップブレイカのすくい角がもっとも大きく影響する。また、



第6図 工具設計および切削条件の最適化例  
Fig. 6 Example of tool design and cutting condition

切削条件は、チップブレイカが効果を発揮しやすい回転数および送り速度を選定することが効果的である。このように、従来のPb、Bi添加合金と同レベルでの切削加工を達成するために、工具設計を含め、切削条件を最適化することは重要である。

### 5. 機械的性質

KE合金の機械的性質を従来合金と比較して第2表に示す。KE2合金は従来の2011よりも高強度であり、2017と同等の強度を有する。また、KE6合金は、従来の6061および6262合金に比較して同等以上を示している。

### 6. 耐食性、陽極酸化処理性

Al合金の耐食性は、一般に鉄鋼材料などと比較して優れているが、従来のPb、Bi添加合金は相対比較を第2表に示したように、材料中のPbとBiの化合物が耐食

第2表 合金性能比較表 (代表値)

Table 2 Comparison of KE2, KE6 and conventional alloy (typical value)

	Alloys	Tensile Properties			Corrosion Resistance*	Anodic Oxide Property*
		TS N/mm <sup>2</sup>	YS N/mm <sup>2</sup>	EI . %		
2000 Series	KE2-T6	470	390	12	C	C
	JIS2017-T6	480	400	12	C	C
	AA2011-T6	400	300	18	D	D
6000 Series	KE6-T6	350	330	13	A	A
	JIS6061-T6	340	320	15	A	A
	AA6262-T6	330	310	14	B	B

\* Superior A > B > C > D Inferior

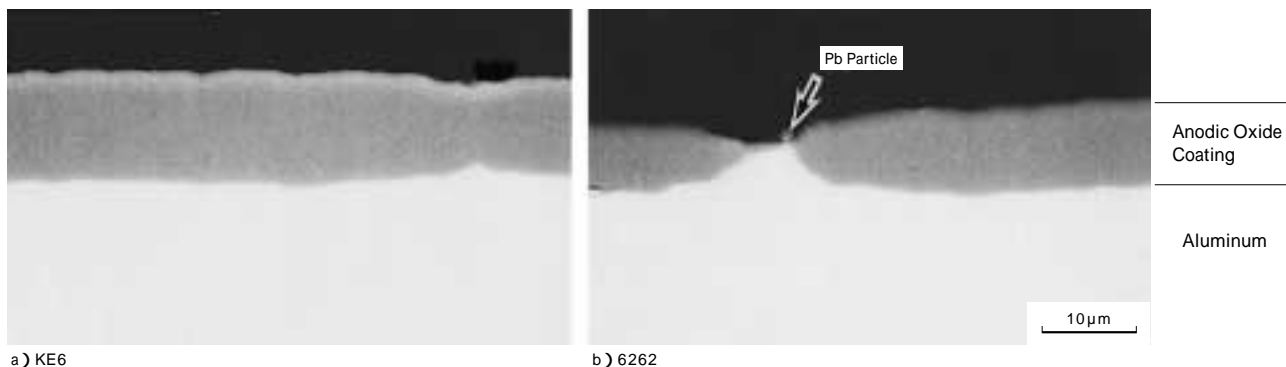


写真2 陽極酸化皮膜の断面組織  
Photo 2 Cross section of anodic oxide coating

性を低下させる傾向がある。

いっぽう、Pb と Bi の化合物は、Al の代表的な表面処理である陽極酸化処理性にも影響を与える。写真2は、KE6 および 6262 の陽極酸化処理後のマイクロ組織を比較したものである。Pb と Bi の化合物は陽極酸化皮膜の形成を阻害し、写真に見られるように、皮膜の不連続な欠陥が発生する場合がある。これに対して、Pb、Bi を添加していない KE 合金は、陽極酸化皮膜欠陥が発生しにくい特性をもっている。

むすび= これからの企業活動は、素材・製品作りにおいて環境保護を第一に考えて推進しなければならない。今後も環境に優しく、さらに被削性の優れる材料の開発に努めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 片山 昌：機械技術，Vol.48 (2000) p.18 .
- 2) 村上陽太郎ほか：アルミニウム材料の基礎と工業技術，(社)軽金属協会 (1985) p.330 .
- 3) 浅野和彦：軽金属，Vol.21 (1971) p.579 .
- 4) H. Yaguchi : Mater. Sci. Tech., 5 (1989) p.255 .
- 5) 杉田忠彰著：基礎切削加工学，共立出版 (1988) p.100 .