新技術・新製品

次世代Pbフリー快削黄銅「グローブラス」の開発

大石恵一郎* 後藤弘樹[1)**] 須崎孝一[2)**]

1. 開発の背景

近年，ひとや環境に影響を与えないよう，有害物質であるPbの排除が様々な分野で進められ，米国では2014年から飲料水器具に含まれるPbの量が，加重平均で0.25％以下に規制(S.3874(米国安全飲料水法))されている．

欧州では，2006年から電気・電子製品に使用される素材のPbの量を0.1％以下にする規制(RoHS指令[(1)])が施行され，自動車部品についても，RoHS指令と連動したELV指令[(2)]が施行されている．その中で代替材料がないという理由で，快削性銅合金に含まれるPbの適用が除外され，4％までPbを含有できている．被削性はPbの量に依存するので，多量のPbを含む銅合金の被削性は非常に優れる．2016年にこれらの適用除外の期限を迎え，技術コンサルタント(Oeko-Institut)による評価・検討が行われ，最終的には2021年7月まで適用除外が延長された．2016年のRoHSおよびELV最終報告書の中で，注目される記述を見つけることができる．1つは，「エコブラス(76Cu-3Si-0.1P-残Zn)の使用に関する制約は，今後数年で克服される可能性がある」，および「エコブラスの機械加工条件を調整するには時間がかかるかもしれないが，少なくとも一部の用途では基本的に克服できるものと思われる」の記載内容(要約)であり，もう1つは「Biを含む銅合金は，入手可能な鉛フリー材としてリストアップされているが，Biの抱えるいくつかの問題点から評価試験の対象外とする」であった．

エコブラスは，2017年に日米欧で合わせて4万トン生産され，2019年には累計生産量が30万トンを超え，Pbフリー銅合金のグローバルマテリアルとしての地位を築きつつある．一方で，JIS規格に登録されているPb含有黄銅棒は10種類以上あり，エコブラスひとつですべてをカバーするのは難しいと思われる．今後の動向は不明であるが，ひとや環境に大きな負荷を与える有害物質が排除される方向にあり[(3)]，新しいタイプのPbフリー銅合金の開発が望まれている．

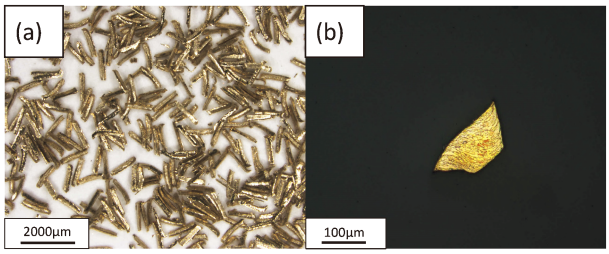
2. 合金開発の考え方・進め方

エコブラスは，α相と，Siリッチなκ相，少量のγ相で構成され，良好な被削性を有し，Pbを3％含有する黄銅，JIS C3604(Pb黄銅という)に比べ約1.4倍の強度，優れた耐摩耗性，耐脱亜鉛腐食性，耐応力腐食割れ性を備えるが，Siを3％含有するので導電率が約8％IACSであり，Cu含有量が約76％と高い．ところで，Pb黄銅を旋削すると，**図1**に示すように，切屑は針状で，厚みの薄いせん断型切屑を生成し，切削抵抗も低い．Pb黄銅は表面品質に問題がなく，一昼夜，無人で工具の取り換えがなく，多量に発生する切屑がトラブルなしに処理されてきた．

合金開発の考え方として，エコブラスとは異なり，Pb黄銅と大よそ同じCu濃度約60％，同じ金属組織，α相とβ相で構成され，切削時に厚みの薄いせん断型切屑を生成させることを目指した．

黄銅のβ相は，α相より被削性に勝り，Pb黄銅の被削性にもβ相は貢献している．そこでまず，β黄銅の切削挙動を把握し，β黄銅の被削性を大幅改善する．次に切屑の分断性を向上させるために，切削時応力集中源になる微細な化合物を均一に分散させることで臨んだ．β相の被削性の改善にSiの添加を選択した．黄銅は積層欠陥エネルギーが低く，黄銅へのSiの添加は，さらに積層欠陥エネルギーを低くすると推測され，同時にもたらされる固溶強化が転位の運動を阻害し，切削時，せん断型切屑の生成を促すことが期待された．微細な化合物の生成には少量のPの含有を選択した．熱間加工中，Pは固溶し，熱間加工性に影響を与えず，冷却過程で約2μmのP化合物が均一に析出する．

* 三菱マテリアル株式会社 高機能製品カンパニー：顧問
** 三菱マテリアル株式会社 三宝製作所 開発部：1)係長 2)副技術主幹
Development of Next-generation Pb-free, Free-cutting Brass "GloBrass"; Keiichiro Oishi, Hiroki Goto and Koichi Suzaki (Mitsubishi Materials Corporation)
2020年10月28日受理[doi:10.2320/materia.60.110]



切削条件: 材質K10, 切削速度40m/min, 送り0.1mm/rev, 切込深さ 1mm

図 1　Pb 黄銅の切屑外観(a)と断面(b).

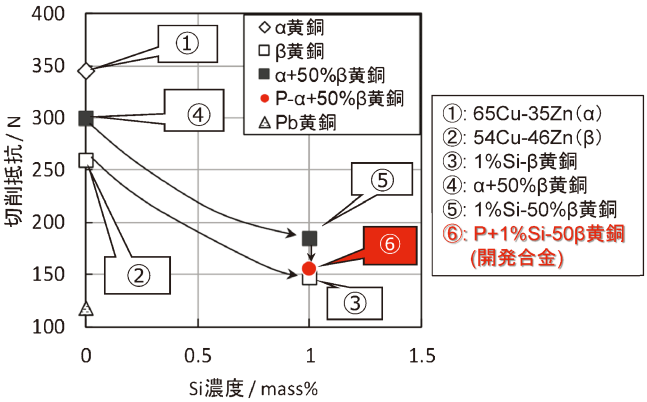


図 2　α 黄銅，1%Si 入り α+50%β 黄銅，1%Si 入り β 黄銅，Pb 黄銅の切削抵抗.

3.　開発合金の特徴と諸特性

(1)　被削性向上の過程

図 2 は α 黄銅を出発点とした開発過程を示す合金の概略図であり，Si 濃度と切削抵抗(主分力，送り分力，背分力の合力)の関係を示す．**図 3** に各熱間押出合金の切屑外観と切屑の断面を示す．切削条件は Pb 黄銅と同じ条件である．

α 黄銅(①)は，厚みの厚い流れ型切屑を示す．β 黄銅(②)は，切屑処理に厄介なもつれた切屑であるが，α 黄銅より約25%切削抵抗が低い．そして切屑厚みの変動が大きいが，切削断面の表面はせん断形状を示し，安定したせん断型切屑が生成できれば良好な被削性を保有できる可能性が示唆された．β 黄銅に Si を 1%含有させると(③)，切屑は所々で分断され，厚みの変動が少ないせん断型切屑が安定して得られるようになる．結果，α 黄銅に比べ切削抵抗，切屑厚みともに大きく低下する．

次に β 黄銅は延性に乏しため，α 相を面積率で50%含む黄銅(④，58Cu–42Zn，50β 黄銅)を検討した．50β 黄銅の切屑は，流れ型であるが，α 黄銅より切削抵抗が10%以上低く，切屑厚みが約20%薄い．Si を 1%含有する 50β 黄銅(⑤)は，Si 無添加の 50β 黄銅に比べ，切屑のせん断が明瞭になり，切削抵抗，切屑厚みが，いずれも約40%減少する．但し，1%Si–50β 黄銅は，Pb 黄銅に比べ，切屑の分断が不十分でまだ切削抵抗も高い．そこでさらに P を0.07%含有させると(⑥，開発合金)，P の効果により切屑厚みが薄く，切屑が細かく分断されるようになる．このように本開発合金は，Pb 黄銅とほぼ同じ厚みのせん断型切屑を生成させることに成功した．切削抵抗は，Pb 黄銅に比べ約30%高い値を示すが，これは切削抵抗が材料のせん断応力と切屑厚みの積と深い関係にあり，開発合金は，Pb 黄銅に比べ約1.3倍高い強度を有するためと考える．

図 3　図 2 における①–⑥の各合金の旋盤外周切削時の切屑の外観と断面.

図 4　開発合金の金属組織.

表 1　開発合金の代表化学成分(mass%).

Cu	Si	P	Pb	Zn
62.5	1.0	0.07	0.05	残部

(2)　組成および金属組織

表 1 に開発合金の代表組成を示す．また**図 4** に開発合金の金属組織を示す．面積率約45%の β 相と，β 相内に約 2 μm の粒状の P 化合物が観察される．Si によって被削性が飛躍的に高められた β 相と，均一に分散して存在する P 化合物が切削時に応力集中源となり，厚みの薄いせん断型切屑を生成し，切屑が細かく分断される．

(3)　切削表面粗さ

図 5 に開発合金の送りと表面粗さの関係，切削面の状況を

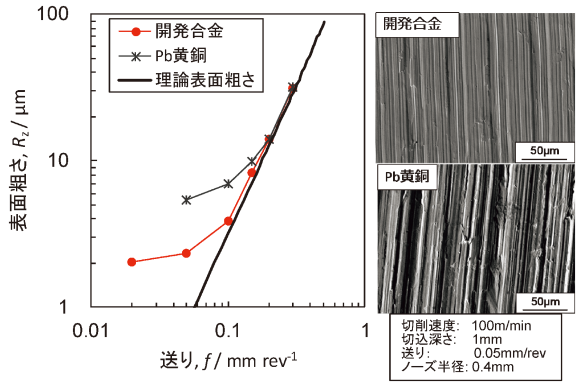


図 5　開発合金の表面粗さ，送り0.05 mm/rev の表面状態.

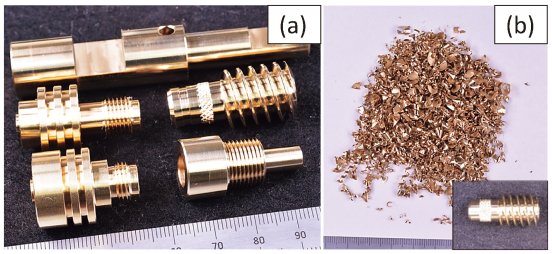


図 6　切削加工例；(a)：外観，(b)：外周切削時の切屑.

示す．せん断型切屑が生成すると，切削抵抗が変動し，表面粗さが悪くなると言われている．開発合金は，おおよそ送り0.1 mm/rev まで理論表面粗さが得られ，Pb 黄銅よりも良好な切削面を示す．図 3 の切屑断面から，開発合金は厚みが一定で規則的なせん断型切屑が生成され，Pb 等の軟質物質を含まないことにより，理論粗さに近い表面を得ることができている．

(4)　切削加工例

図 6 に商用切削加工機を用いた開発合金の切削加工例を示す．概ね Pb 黄銅と同じ切削条件であるが，外周切削，ドリル，ねじ切り，エンドミル，ローレット加工等，良好な切削加工ができており，また切屑処理性に問題はない．

(5)　機械的性質および物理的性質

表 2 に加工率 8％で抽伸した ϕ20 mm の開発合金棒の特性を示す．開発合金は，Pb 黄銅に比べ約1.3倍の強度を備え，比重は0.2 g cm^{-3} 小さく，導電率は，電気・電子部品で多用されているりん青銅(C5191，導電率14％)より高い．

(6)　熱間加工性

熱間圧縮試験により，熱間加工性を評価した結果を**図 7** に示す．開発合金は，熱間変形能に優れ，鍛造用 Pb 黄銅，JIS C3771より熱間変形抵抗が低く，約70℃低い温度で熱間押出・熱間鍛造が可能で，省エネルギーに貢献し，金型寿命も長くなる．

4.　開発の将来性，発展性

我々は，$\alpha+\beta$ 黄銅に 1％Si と0.07％P を含有し，金属組織の調整により，良好な被削性を備えた「グローブラス」の開発に成功した．エコブラスとは組成，金属組織，諸性質で異なる，新しいタイプの Pb フリー快削黄銅である．またグローブラスは，Pb 黄銅より強度が高く，比重が小さいので，Pb の排除だけでなく，電気・電子・自動車部品の小型化や軽量化に貢献できる次世代 Pb フリー快削黄銅である．

エコブラスと併用することにより，より一層 Pb 黄銅の代替が可能となり，ひとが直接摂取する飲料水分野を始め，RoHS，ELV 規制に直面する電気・電子部品，自動車部品を含め，多くの産業分野で幅広い展開を見込んでいる．

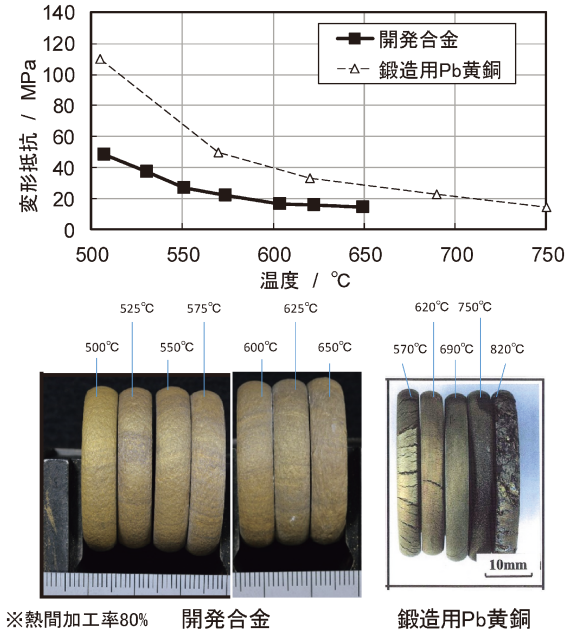


図 7　開発合金の熱間変形抵抗と熱間変形能.

表 2　開発合金の諸特性.

	引張強さ MPa	耐力 MPa	伸び %	比重 gcm^{-3}	導電率 %IACS
開発合金	620	460	20	8.3	16
Pb黄銅	460	340	20	8.5	26

5.　特　　許

本開発合金に関わる特許は出願済み（出願番号 PCT/JP2019/048438など 4 件）である．

文　　献

（1）Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.
（2）Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end–of life vehicles.
（3）野村良行，齋藤　寧，古川欣吾，南　善規，堀内寛二，服部康弘：SEI テクニカルレビュー，**169**(2006), 73.