

社団法人山梨科学アカデミー 創立 15 周年記念講演演要旨  
**「バルク金属ガラスの開発と応用」**

東北大学総長・日本学士院会員 井上明久 氏

### 1. はじめに

1990 年前後に徐凝固プロセスによりバルク金属ガラスが作製されて以来、バルク金属ガラスに関する研究が、基礎科学および工学視点からの新規性のために、金属分野の主要研究課題となり、多くの国々で活発に行われてきた。バルク金属ガラスは、結晶金属では得られない様々な特性や特徴ある加工性を示し、金属系先端材料として実用されている。本稿では、この新金属材料の開発の経緯、基礎的性質、特異な作製・成形加工プロセスおよび応用を最近の進展に焦点を絞って紹介する。

### 2. バルク金属ガラス開発の進展

金属過冷却液体の結晶化に対する安定性は 1988 年以降の約 20 年間で劇的に増大し、様々な形状のバルク金属ガラスの作製が可能になっている。例えば図 1 に示すように、3 から 7cm の寸法のバルク金属ガラスが Pd 系、Ni 系、Cu 系および Zr 系等で作製されている。このようにバルク金属ガラス開発が進展した結果、1990 年代中頃以降、結晶金属材料の外に、ガラス構造金属も社会生活に利用されるようになり、数千年間の金属学の常識が覆されることになった。

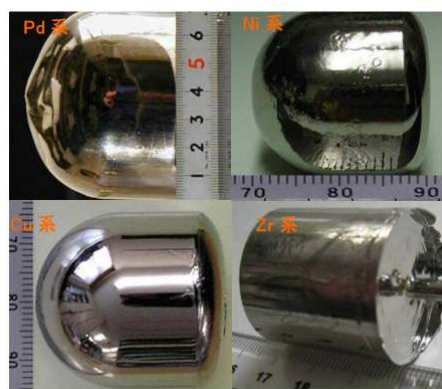


図 1 3～7cm の直径をもつ種々合金 (Pd, Ni, Cu および Zr) 系のバルク金属ガラスの外観。

### 3. バルク金属ガラス合金系とそれらの特徴

表 1 はこれまでに報告されているバルク金属ガラスの代表組成を公表された年代と一緒にまとめている。合金系は非鉄族系と鉄族系に分類される。希土類金属(Ln)は少なくとも 15 種類の元素が利用できることから、合金系の総数は 500 種類を大きく上回っている。1998 年から 2002 年までの数年間がバルク金属ガラス開拓の黎明期と見なされる。筆者はこの黎明期に得られたバルク金属ガラスの合金系の結果に基づいて、過冷却液体の高安定性および高ガラス形成能を示す合金の成分には以下の 3 つの特徴があることが見出した。すなわち、(1) 3 元素以上の多成分系であること、(2) 基本 3 成分間の原子半径が互いに 12% 以上異なっていること、および(3)

表 1 これまでに報告されているバルク金属ガラスの代表組成および公表された年代

1. 非鉄族系	年	2. 鉄族系	年
Zr-(Ti,Nb,Pd)-A I-TM	1995	Fe-(Al,Ga)-(P,C, B,Si,Ge)	1995
Pd-Cu-Ni-P	1996	Fe-(Nb,Mo)-(Al, Ga)-(P,B,Si)	1995
Pd-Ni-Fe-P	1996	Fe-(Zr,Hf,Nb)-B	1996
Pd-Cu-B-Si	1997	Fe-Co-Ln-B	1998
Ti-Ni-Cu-Sn	1998	Fe-Ga-(Cr,Mo)- (P,C,B)	1998
Cu-(Zr,Hf)-Ti	2001	Co-Ta-B	1999
Cu-(Zr,Hf)-Ti-( Y,Be)	2001	Fe-Ga-(P,B)	2000
Cu-(Zr,Hf)-Ti-( Fe,Co,Ni)	2002	Ni-Zr-Ti-Sn-Si	2001
Ti-Cu-(Zr,Hf)-(C o,Ni)	2004	Fe-Si-B-Nb	2002
Ca-Mg-Zn	2004	Co-Fe-Ta-B-Si	2003
Pt-Cu-P	2004	Fe-(Cr,Mo)-(C,B) -Ln	2004
Pd-Pt-Cu-P	2005	Ni-Pd-P	2006
Zr-Cu-Al-Ag	2006	Ni-Pd-P-B	2007
Zr-Cu-Al-Ag-Pd	2007	Fe-Si-B-P	2007

3 元素が互いに負の混合熱を有していること、である。この 3 成分則を満たした合金系は例外なく共晶型反応を示し、その融点が低い共晶点近傍組成を選ぶことにより、最近の約 15 年間に表 1 に纏めているように多数の広範な合金系でバルク金属ガラスが作製されている。

#### 4. 工業用バルク金属ガラス

最近の 20 年間のバルク金属ガラスに関する膨大な基礎研究により得られた知見に基づいて、現在では Pd, Zr, Ni, Mg, La 基の様々な合金系において 20mm 以上の臨界直径をもつバルク金属ガラスが作製されている。このような大形状金属ガラスが作製できることが新しい材料科学工学分野の開拓に大きく貢献している。現在日本で進展しているバルク金属ガラスの応用分野としては、構造材料、精密機械材料、センサー材料(図 2)、ばね材料、スポーツ用具材料、耐磨耗材料、耐食材料、磁性材料(図 3)、マイクロ・ナノテクノロジー材料、情報記録材料、生体・医療機器材料、燃料電池セパレータ材料などが挙げられる。これらの材料への応用は、ネット形状 casting 性、粘性流動を利用したナノ転写加工性、ナノスケール表面平滑性等のユニークな利点を生かして進められている。

工業化が進められているバルク金属ガラスの合金系として、Zr-Al-Ni-Cu, Fe-Cr-半金属、Fe-Nb-半金属、Fe-Ni-Cr-Mo-半金属で代表される主合金成分を 50at%以上含む主金属型合金、他方 Zr-Be-Ni-Cu-Ti および Ti-Zr-Cu-Ni-Sn で代表される主合金成分が 50%以下の擬主金属型合金があり、Zr 基、Ti 基および Fe 基ガラス合金が重要な実用材料となっている。

#### 5. まとめ

バルク金属ガラスは、物理的、化学的、機械的、磁氣的、光学的などの様々な機能特性の外に、新規な原子配列構造、独特な多成分合金組成、広範なバルク合金形状、ニュートン粘性流動およびネット形状 casting 加工性などの材料科学・工学的性質のために、これまでの結晶金属材料とは本質的に異なった金属系先端材料として注目され、省エネルギー、省資源、長寿命、高信頼性などが要求される分野で実用されている。現在も世界の多くの国々で活発な開発研究が継続されており、今後の研究の進展によりこれらの応用範囲は飛躍的に拡大するものと期待される。



図 2 圧力センサー用金属ガラス起歪体 (ダイヤフラム)。

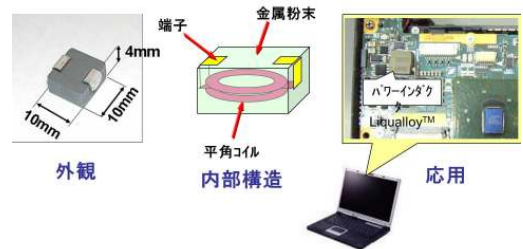


図 3 圧粉磁心の応用、磁性コア Licalloy(リカロイ)™を用いたパワーインダクター。