

井上過冷金属プロジェクト中間評価報告書

総括責任者：井上明久(東北大学金属材料研究所 所長・教授)

研究体制：	過冷金属構造グループ	研究員	今福宗行	他 5 名
	過冷金属変態グループ	研究員	才田淳治	他 3 名
	過冷金属制御グループ	研究員	西山伸行	他 6 名

評価委員：

金山幸雄(YKK (株) 常務・研究開発本部長)
新宮秀夫(京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授)
日野谷重晴(住友金属工業 (株) 総合技術研究所 研究主幹)

1. 研究の進捗状況と今後の見込み

1.1. 研究の背景

アモルファス金属は現在、磁性材料を中心に広く利用されるに至っているが、その製造プロセスの基本には急速冷却が不可欠であると一般に見られて来た。本プロジェクトの独創性は、金属液体の大過冷、それに伴うアモルファス化は、金属元素の組合せ、組成比によっては、必ずしも急速冷却を必要としないという視点に立って、実験的に通常の鑄造法によるアモルファス金属材料の作成を目指す点にあった。そのような金属材料が、広い合金種で見出せるとすれば、人類が歴史始まって以来利用して来た金属材料、すなわち結晶質金属とは異なり、その構造は酸化物ガラス等に類似の非晶質でありながら、導電性、強度等において金属の性質をも保持する金属材料の新世紀を拓くことが可能であるとの期待が持たれる。

1.2 研究構想とその具体化状況

アモルファス合金を通常の鑄造法により作成することの可能な合金組成を見出すための推定法の確立が構想された。その目的に向けて合金が大過冷却を起こすための条件を系統的に整理し、金属液体の構造および結晶化、すなわち金属液体の相変態の理論的および実験的解析により、アモルファス形成能の大きさを推定する推定式が提案された。

上記の推定式に基づいて、()過冷金属構造グループ、()過冷金属変態グループ、()過冷金属制御グループの3つの研究グループにより、プロジェクト発足以来の3年間におよぶ精力的な研究が行われ、その結果、大過冷却の発生による金属ガラス(アモルファス金属)形成のための臨界冷却速度を、合金元素に固有の物理的ならびに化学的性質に基づいて、実用に役立つ予測をするに至っている。また、金属ガラスの結晶化に際して、結晶

としては成立し得ない二十面体構造が発現する傾向を見出すなど、大過冷却を生ずる金属液体の特異な構造を示唆する興味ある実験結果も得られている。

1.3. 施設・設備の整備状況

研究の目的に沿った設備が計画的に設置されており、3つのグループが有機的に助け合って研究を進める体制が出来ている。

2. 研究成果の現状と今後の見込み

2.1. 過冷金属構造グループ

本グループは、主に実験室規模のX線解析装置を利用した total RDF 解析法と、放射光施設を利用したX線異常散乱解析法を用いて、金属ガラスの構造を原子レベルで明かにし、さらにその構造安定化の機構をも原子レベルで解明しようとするものである。

(1) Fe-M-B (M = Cr, W, Ta, Nb, Hf, Zr) 系合金と Fe-Co-RE-B (RE = Nb, Sm, Tb, Dy) 系合金の安定構造、および Fe-M-B (M = W, Ta, Nb) 系合金の結晶化過程を観測し、その結果、金属ガラスでは、結晶化の過程において広範な原子配置の組替えが必要であり、そのために金属ガラスは広範囲の温度域で安定である、という仮説を提出した。

(2) 今後は、プロジェクトが開発した迅速X線解析装置を活用して、さらに高温領域での観測を行い、安定化の機構を原子レベルで証明することが期待される。

2.2. 過冷金属変態グループ

本グループは、カロリメトリー、共焦点レーザー顕微鏡 (LSM)、分析装置付電子顕微鏡 (TEM) などを駆使して、種々の金属ガラスを「その場」ならびに「実時間」観測し、温度変化に対応した相変態の挙動を明らかにしようとしている。

(1) Ag (or, Pd, Au, Pt) 添加 Zr-Al-Ni-Cu 系合金の結晶化に際して、結晶として成長できない二十面体構造 (準結晶相) が発現する傾向を見出した。

(2) 同様に、Nb, Mo 添加実験を行い、二十面体構造およびその類似構造が、金属ガラスのガラス相を安定化することを示唆した。

(3) 今後は、これら局所構造と相変態との相関を精度よく解明し、その金属ガラスの挙動の物理学的側面を明らかにすることが期待される。

2.3. 過冷金属制御グループ

本グループは、広い温度範囲において過冷却液体（準安定な液相状態）を発現する多種類の大型の金属ガラス材料を用いて、カロリメトリー測定（グループと共同）、引っ張り強度とヤング率測定などの機械特性、および軟磁性を中心とした磁気特性を測定し、すでに幾つかの画期的な成果をあげている。

(1)合金の融点の絶対温度（ T_m ）の約半分（ $0.5T_m$ ）に到る液体と結晶（安定結晶および準安定結晶）との間の自由エネルギー差の実測データを示した。

(2)バルク金属ガラスの引っ張り強度とヤング率との関係を系統的に整理した結果、金属ガラスは、強度増大に伴うヤング率増加の割合が通常の金属材料に比較して約 $1/3$ となるという画期的発見を得た。すなわち、通常の結晶質金属では、引っ張り強さが大きくなれば、それにつれてどんどん硬くなって曲がり（たわみ）難くなるのに対して、金属ガラスは数 GPa という著しい引っ張り強度を示しながら、曲がり（たわみ）やすい性質を保持している。

(3)アモルファス金属において、実用面で従来から最も注目されてきた軟磁性についても、本プロジェクトで得られたバルク金属ガラスにおいて、合金元素によっては、従来のアモルファス材料と同様の優れた軟磁性を有することを示した。本研究はバルク材としての軟磁性の応用に道を拓いたと言える。

(4)今後は、他のグループと連携しながら、バルク金属材料としての金属ガラスの特性の解明と、その実用の可能性の探索に努めて欲しい。

3. 結語

以上の中間評価によって、本プロジェクトは、当初の予測に従い着々と成果を挙げており、実用上も学術上も極めて大きな貢献が期待できることが判明した。特に、＜2.研究成果の現状と今後の見込み＞において述べたように、金属であって従来の金属と異なる機械的特性を、大過冷却金属液体の凍結された状態である金属ガラスが有している事の確証は、金属材料の新しい分野を拓くものである。そして、より幅広い合金種の探究、材料としての加工性、電氣的、磁氣的特性の実用化などに加えて、今後の2年間に於いて、バルク金属ガラス材料を実用寸法の種々の機械部品および磁性材料として試用に供して、その実用性および特異な性質をデモンストレーションすることが望まれる。それらの成果を踏まえて、バルク金属ガラスの新物質としての特性を世界に先駆けて解明するチャンスを逃さぬために、本プロジェクト終了後も、更なる、より拡大されたプロジェクトへと発展することが強く望まれるものである。

以 上