

## 事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年8月29日

評価委員：（敬称略、順不同）

中嶋英雄 大阪大学産業科学研究所 教授（主査）

藤森啓安（財）電気磁気材料研究所 顧問

新原皓一 長岡技術科学大学極限エネルギー密度工学研究センター センター長・教授

若井史博 東京工業大学応用セラミックス研究所附属セキュアマテリアル研究センター 教授

記入年月日：平成18年12月15日

課題名	金属ガラスの組成・構造ゆらぎの解明とそれを利用した材料開発
研究責任者名及び所属・役職	大沼 正人 材料研究所 ナノ組織解析グループ 主幹研究員（現在：量子ビームセンター 中性子散乱グループ 主幹研究員）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成16年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：64百万円、外部資金：0百万円 参加人数：（平成17年度）16人（専任：0人、併任：7人、ポスドク：3人、学生：6人）
【研究全体の目的、目標、概要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>金属ガラスは高強度、高耐食性、ガラス状態での優れた粘性流動、成型性、形状転写性などのユニークな特性から、次世代の新しい金属系材料として世界的に熾烈な研究開発が進められている新しい金属材料の分野である。金属ガラスを構造材料として実用化する際の障害は、ガラスという言葉が示すとおり熱的安定性と靱性に欠けることであり、これを改善しないかぎり、金属ガラスがメジャーな構造材料として用途を広げることは不可能である。靱性改善のキーファクターの1つとして不均一構造の導入が挙げられる。これは不均一構造の導入により剪断滑りが他系統に分散されることが期待できるからである。しかしながら、両者の関係は本研究に着手した時点では不明確であり、さらに非晶質合金に導入可能な不均一性の代表として有力グループにより提唱された非晶質構造を保ったままの相分離という概念が検証なく安易に使われるという学問的に極めて不健全な状態にあった。そこで本研究では当機構が有する微細組織キャラクタリゼーションを基盤とする実験的および計算材料学を基盤とする理論的なアプローチという高いポテンシャルを駆使して、この基礎的で重要な問題-「金属ガラスの組成・構造ゆらぎ」-に対してはっきりとした結論を導くことを最大の目標とした。さらに、このような視点から金属ガラスの靱性改善に対して新たな概念を提案し、新規な材料開発を目指す指導原理を提案することを目指した。</p> <p>なお、本研究は平成15年度より開始された科研費特定領域研究「金属ガラスの材料科学」のNIMSインハウス研究として計画された。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>対象とする合金は既に「ガラス状態の相分離」が報告されているZr基、Al基金属ガラスとする。実験的アプローチとしてアトムプローブ法、TEM-EELSによるエネルギーフィルタイメージ法およびX線小角散乱法の3手法を組成ゆらぎを検出する手段として使用し、非晶質構造と結晶との区別には高分解能電子顕微鏡を用いる。さらにX線/電子回折より動径分布関数を求め、非晶質構造の短範囲秩序の変化を調べる。これらにより上記合金の「ガラス状態の相分離」とされてきた現象について「金属ガラスの相分離」、「金属ガラス局所構造の秩序化」、「結晶化の進行過程」のいずれかを決定する。さらに計算状態図(CALPHAD)のアプローチによる検証も行う。</p> <p>機械特性と組成・構造ゆらぎの関係については強磁性非晶質合金の結晶化前脆化現象と塑性変形を示すCuバルク金属ガラス-ナノ結晶複合材料について</p>

	検討する。
【全研究期間の成果等 (研究全体)】	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：  「ガラス状態の相分離」が報告されている代表的なZr基、Al基金属ガラスについて、いずれの系でも「ガラス状態の相分離」は生じておらず、その証拠とされた現象も「ナノ結晶化」もしくは「局所構造の秩序化」であることを示した。この結果は他のグループの研究にもインパクトを与え、既存の研究結果についてもう一度検証する動きが広がり、これまでの安易な解釈を否定する論文が他のグループからも発表されるに至った。さらに、熱力学的にも「ガラスの相分離」と「高いガラス形成能」との両立が困難であることを示した。これらの結果は本プロジェクトと科研費特定研究の相乗効果による成果である。この成果により袋小路に向かいつつあった「金属ガラスにおけるナノ組織制御およびそれによる機械特性改善」について、研究者間の共通認識の上に立脚して議論を進める基盤を形成するとともに乱れた系中に存在する「ゆらぎ構造」が機械特性に及ぼす影響についても新たな概念を提案しつつあり、今後の金属ガラスを含む非晶質金属材料開発に貢献することが期待できる。</p> <p>論文：11. 8件*、プロシーディングス：1. 4件*、解説・総説：0件*、招待講演数：7. 0件*（*：研究の寄与率を考慮した平成16－17年の値）  特許出願：2件、登録：0件、実施許諾：0件</p>
【評価項目】	コメ ント お よ び 評 価 点
マネジメント 実施体制 (サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性)	<p>コメント：  本中期計画推進プログラム研究は、「ナノ組織制御による次世代高特性材料の創製」プロジェクトの中で行われていたが、金属ガラスの研究に関する部分のみを分離してスタートした。元の所属プロジェクトや科学研究費特定領域研究と研究連携しつつ、「金属ガラスに相分離は存在し得るのか」という金属学上の基礎問題に特化した研究を実施し、重要な成果を挙げた。このように焦点を絞った目標を設定した実施体制の下で効率的な運営を行った結果、金属ガラスの材料科学の解明に重要な貢献を行ったと評価できる。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：8  評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している  7点：よく考えられている 5点：平均的な体制  3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった</p>	
アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)	<p>コメント：  研究の寄与率を考慮しても論文数や招待講演数は十分である。論文は一流学術誌に発表している点が評価できる。特許は少ないが、研究期間が2カ年なのでやむを得ないであろう。今後の発展に期待したい。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：8  評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている  7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準  3点：少ない 1点：問題がある</p>	

<p>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</p>	<p>コメント： 研究目標を「金属ガラス－非晶質合金－に相分離は存在し得るのか」という金属学上の基礎問題に絞り、精密なナノ組織構造解析から「非晶質化と相分離は相反し、相分離は結晶化の後に起こる」という、従来の定説を修正する重要な知見を得た。また、熱力学的計算により、正の混合熱と3元系金属ガラスでも相分離は起こるが、それは非晶質化とは相反することを明らかにした。このことは、金属ガラス・非晶質合金のナノ結晶化機構に関して、金属ガラス分野における学問的ならびに応用技術の面で、既存の概念を変える大きなインパクトを与えている。今後この問題は、国内外の学会で、大きなテーマになりうる。このように、このプロジェクトの成果は、日本のみならず世界的な研究の流れを変えたという意味で、インパクトのある研究であった。このように基礎研究としての目的は十分達成されているが、応用の試みは緒についたところであり、今後は、新材料開発等の材料開発にも重きを置いてほしい。特に、ナノ結晶化による脆化現象が見出されているが、今後は、実用的な見地から韌性の改善が望まれる。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：8 評価基準 9点：一つの分野を形成した 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 5点：目標はなんとか達成された 3点：目標の部分的な達成 1点：目標達成にはほど遠い</p>	
<p>総合評価 研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。</p>	<p>コメント： 金属ガラス、ひいては非晶質合金の本質にかかわる重要な問題を提起した基礎研究として高く評価される。本研究では、金属ガラス状態の相分離の問題に決着をつけるべく、物材機構の利点を生かしたキャラクタリゼーションを総動員して局部構造、結晶核の形成に関する注意深い研究を行い、従来の定説を修正した功績は大きい。また、今後大きく展開することが期待できる重要な基礎的構造解析データが得られている。このように、2カ年の萌芽研究としては水準以上の十分な成果が生まれており、小規模であるが、まとまりのある研究であると結論づけることができる。今後は、このような基礎的知見に基づいた実用材料を目指した応用研究への更なる展開を期待する。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：8 評価基準 9点：すべての点において模範的に優れている 7点：総合的に優れている 5点：平均的 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである</p>	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0～2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A+	A+	A+	A+