

## 平成17年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな（ローマ字）		INOUE AKIHISA					
①研究代表者氏名		井上 明久		②所属研究機関・部局・職		東北大学・金属材料研究所・教授	
③研究課題名	和文	安定化過冷却液体の大過冷却相変態の利用による高機能性非平衡金属材料の創製と工業化					
	英文	Fabrication and Industrialization of High Functional Non-Equilibrium Metallic Materials Utilizing Transformation of Stabilized Supercooled Liquids at Highly Supercooled State					
④研究経費		平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計
17年度以降は内約額 金額単位：千円		35,800	18,000	23,900	6,700	5,800	90,200
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者）							
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
井上 明久	東北大学・金属材料研究所・教授	非平衡物質学	安定化過冷却液体が得られる新合金系開発、構造相安定性と大過冷却相変態の解明。また、各担当研究者の結果の解析、まとめを行う。過冷却液体安定化のための3つの成分則およびその新相変態の特徴を利用したバルク非平衡材料創製と工業化の最終評価および総括。				
竹内 章	東北大学・金属材料研究所・助教授	非平衡相変態学	経験則に基づいた非平衡ナノ結晶、バルク金属ガラス生成および大過冷却相変態の核生成・成長の計算機科学予測。最適合金系の中での最適合金組成の計算機科学予測法の確立。計算機科学法による新非平衡材料の開発。				
D. V. LOUZGUINE	東北大学・金属材料研究所・助手	非平衡物質学	大過冷却相変態による新しいバルク非平衡ナノ結晶および新しいバルク金属ガラスの作製と相安定性の究明。これに伴って生成能、構造、組織、相安定性、基礎物性、粘性加工性の評価。合金組成依存性、添加元素効果、粘性流動を利用した微細精密加工性、接合性の評価と加工材の特性調査。				
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>1988年、我々のグループは過冷金属液体の安定化現象を発見し、この安定化現象を利用することによりMg基、希土類元素基、Zr基、Fe基、Pd-Cu基、Ti基、Co基、Ni基などの数多くのバルクガラス合金群を見出してきた。さらに、我々は、過冷却液体が安定化される機構についての考察を行い、バルク金属ガラスが徐冷凝固によっても得られる合金には、(1)3成分以上の多元系であること、(2)3成分の原子寸法比が互いに12%以上異なっていること、(3)3成分が互いに負の混合熱を有していること、の条件が必ず成立していることを見出し、過冷却液体安定化の3つの成分則としてアモルファス分野の研究者に現在世界的に知られている。さらに、我々はこれまでに世界に先駆けて過冷却金属液体の安定化現象を発見し、その安定化の基本成分則を見出し、それに基づいて上記した多くの金属ガラスを見出し、基礎研究から工業材料化まで幅広い研究を展開してきた。これらの研究成果の下、本研究では、我々が見出し、現在世界的に認められている過冷却液体の安定化現象をおこすための合金成分則に基づいて、<math>0.6T_m \sim 0.7T_m</math>以下の大過冷却温度域で生じるガラス化およびナノ粒径固溶体化への低温相変態を利用して、新規なバルク金属ガラス、ナノ結晶やナノ準結晶を分散したバルク金属ガラスのみならず、新規構造やナノ粒径組織の結晶を始めとする種々の非平衡相を創成し、構造、組織、基礎物性、工業的特性を調べると共に、これと並行して、計算機科学法により理論的予測法の確率を目指す。また、大過冷却域での相変態とそれから得られる非平衡相の特徴を生かした新生成・加工プロセスを開発し、新非平衡材料の工業材料としての有用性を見極めることを目的としている。本研究成果は、基礎学問上のみならず、省エネルギー、環境保全、ライフサイエンスおよび高度情報通信の分野にも発展をもたらすことが期待でき、きわめて大きな社会的意義をもっている。本研究の遂行により、従来の材料科学の枠組みに留まらない各種学術分野・産業に開かれた材料科学を構築し、日本国内のみならず世界を牽引する新材料科学を構築することを目標に掲げる。</p>							

⑦これまでの研究経過 (研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。)

初年度(2003)では、Co,Cu,Ni,Feなどの実用金属を主成分とする新規非平衡材料の開発を行った。高強度Co基軟磁性バルク金属ガラスは、従来の二倍に近い 5200MPaの世界最高強度で、加工性にも優れた特徴と優れた軟磁気特性を併せもつことを見出した

(図 1)。この合金は 270GPaの高ヤング率、 $6.0 \times 10^5 \text{ Nm.kg}^{-1}$ の高比強度および  $31 \times 10^6 \text{ Nm.kg}^{-1}$ の高比剛性を持ち、従来報告された結晶合金、ガラス合金よりも優れた高い機械的強度を示すことを明らかにした。さらに、この合金は過冷却液体域で1400%の引張伸びと圧縮率 90%の優れた加工性を示すとともに、550,000 の高い透磁率を示す。このバルクCo-Fe-Ta-B金属ガラスは、精密光学用の金型や、自動車用エンジンの過熱状態を測定する耐熱センサーの高強度素材などへの応用研究が展開されている。また、実用金属を主成分とし 100K以上の過冷却液体域を示す合金をCu基ガラス合金で初めて見出した。Cu<sub>45</sub>Hf<sub>45</sub>Al<sub>5</sub>Ag<sub>5</sub>合金は 110Kの広い過冷却液体を示し 3mm直径までの棒材としてバルク金属ガラスとして作製できることを示し、120GPaのヤング率、2200MPaの圧縮破壊強度の優れた機械的性質を示すことを明らかにした。さらに、Cu基およびNi基で 2500 から 3000MPaの高強度を示す金属ガラスを新たに見出した。Cu-Zr-Ti-Y、Cu-Zr-Ti-Bは 3mm直径までバルクガラス化が可能であり、一方、Ti基では 5mmまでのバルク金属ガラスの作製に成功した。また、鋼板に対してきわめて高いショットピーニング効果が得られるFe基ガラス合金を新たに見出した。このガラス合金ショットの耐久力は従来の結晶合金ショットと比較して 8 から 10 倍の長耐久時間を有することを明らかにした。優れた耐久性が得られる理由として、従来の結晶合金では決して得られなかったFe基ガラス合金が示すユニークな機械的性質、すなわち、低いヤング率、大きな弾性伸び限および高い引張強度によるものと結論付けた。なお、このFe基金属ガラスを用いたショットピーニング装置は、実用化に成功している。また、計算機科学に関しては、⑥の研究目的で記述した成分則を熱力学変数で合金組成の関数として記述することにより、計算機を用いた合金開発のための基礎を築いた。

今年度(2004)では、金属ガラスを用いた小型・超高感度圧力センサおよび金属ガラス製マイクロギヤを用いた世界最小ギヤードモータなどの実用材料を開発するとともに、前年度に続きCo基合金でさらなる高強度を有する新規非平衡材料を発見するとともに、Fe基合金についても同様の高強度をもつ合金、高い飽和磁化をもつ合金、優れた硬質磁性をもつ合金を新たに開発した。開発した金属ガラスセンサは従来のステンレス鋼センサに比べて 2 倍以上の高圧対応が可能であり、4 倍以上の感度を示す。このセンサはNi基合金の高圧対応型とZr基合金の高感度型の二種類あり、既に開発済みの金属ガラスに適した歪ゲージ蒸着技術とを併せて 2007 年までの産業化を目指した応用開発をさらに推進してゆく研究計画である。また、Ni基金属ガラス製マイクロギヤを内蔵した直径 1.5 mm、減速比 40:1 の世界最小ギヤードモータの開発に成功した。金属ガラス製マイクロギヤは従来の鉄鋼材製マイクロギヤに比べて 30 倍以上の高い耐摩耗性を持つことから、ギヤードモータの超小型化と高負荷特性が実現できた。このギヤードモータは内視鏡やカテーテル等の先端医療機器の駆動源として 2006 年度の実用化を目指した応用研究に着手している。Co基合金では 5000MPa超の高強度を有する新規非平衡材料を発見した。このCo<sub>43</sub>Fe<sub>20</sub>Ta<sub>5.5</sub>B<sub>31.5</sub>合金は 72Kの過冷却液体を示し、2mm直径までのバルク材として作製可能である。また、5185 MPaの超高強度、268 GPaの高ヤング率、この合金の 5000MPaを超える超高強度は 698Kまで保たれる。また、軟磁性合金として、1.5T級の高飽和磁束密度、3 A/m程度の保磁力および 1 kHzで 17,000 級の透磁率を有する軟磁性材をFe基合金で見出した。さらに、Fe-Pt-B合金の組織制御によりナノ複合組織合金を作製し、このナノ複合化合物合金が、0.79- 0.82 の残留磁化、0.93- 1.05 Tの飽和磁化、375- 487 kA/mの保磁力および 118- 127 kJ/m<sup>3</sup>の最大エネルギー積を示す優れた硬質磁性材料であることを明らかにした。また、前年度で基礎を固めた計算機科学的手法による合金開発法を実際にこれまで見出された金属ガラスに適用することにより、典型的なバルク金属ガラスが生成する合金系を算出するとともに、バルクガラスが生成する可能性に関して合金組成を提示する研究成果が得られた。

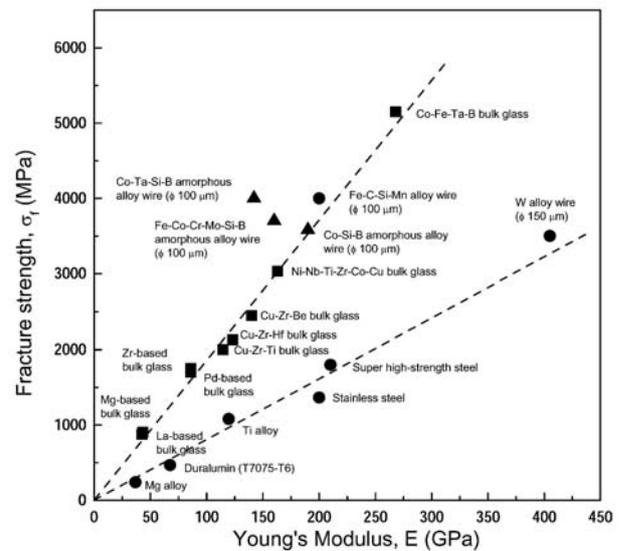


図 1 直径 2mm のガラス合金および結晶合金の破壊強度 ( $\sigma_f$ ) とヤング率 ( $E$ ) の関係。比較のため、直径約 100 $\mu\text{m}$  のアモルファス合金細線のデータも併せて示す。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

【独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性】

本研究に関する以下の三件については、きわめて新規性の高い研究成果としてメディア発表を行っている。これらの研究は、本研究における合金探索および基礎物性の解明の上に見出された新規性のある知見と位置づけられる。なお、下記三件の記事は、研究代表者の所属部局のホームページから抜粋して掲載している。

1. 「強度 2 倍のコバルト基軟磁性バルク金属ガラスを開発」、2003 年 9 月。要旨：従来の二倍に近い 5200MPa の世界最高強度で、加工性にも優れた特徴を持つコバルト基軟磁性バルク金属ガラスの開発に成功した。このバルク金属 ガラスは、コバルトと鉄を主成分とし、これにタンタルと硼素を添加したもので、精密光学用の金型や、自動車用エンジンの過熱状態を測定する耐熱センサーの高強度素材などへの応用が期待されている。この成果は Nature Materials Vol. 2 (2003)AOP 版 (9 月 21 日付)、読売新聞、日本経済新聞、河北新報 (以上 9 月 23 日付)、朝日新聞 (9 月 25 日付) などに掲載された。また、9 月 22 日 18 時の NHK ニュースにも報道された。
  2. 「金属ガラスを用いた小型・超高感度圧力センサを開発」、2004 年 5 月：要旨：従来のステンレス鋼センサに比べて 2 倍以上の高圧対応が可能であり、4 倍以上の感度を示す金属ガラス製圧力センサの開発に成功した。このセンサはニッケルを主成分とした高圧対応型とジルコニウムを主成分とした高感度型で、既に開発済みの金属ガラスに適した歪ゲージ蒸着技術を併せて平成 19 年度の産業化を目指す。成果は日本経済新聞、読売新聞、河北新報をはじめとする全国 10 誌に発表 (5 月 10 日付) され、東北放送、ミヤギテレビでも紹介された。
  3. 「金属ガラス製マイクロギヤを用いた世界最小ギヤードモータを開発」、2004 年 12 月。金属ガラス製マイクロギヤを内蔵した直径 1.5 mm、減速比 40:1 の世界最小ギヤードモータの開発に成功した。金属ガラス製マイクロギヤは従来の鉄鋼材製マイクロギヤに比べて 10 倍以上の高い耐摩耗性を持つことから、ギヤードモータの超小型化と高負荷特性が実現できた。このギヤードモータは内視鏡やカテーテル等の先端医療機器の駆動源として平成 18 年度の実用化を目指す。成果は日本経済新聞、読売新聞、朝日新聞をはじめとする全国 10 紙で発表 (12 月 28 日付) され、NHK テレビ、宮城テレビでも紹介された。さらに、本研究に関して、工業化への貢献により下記受賞を受けている。
1. 奥村潔、黒崎順功、西村一敏、木村久道、井上明久：日本金属学会 2004 年秋期 (第 135 回) 大会技術開発賞「ピーニング向け高強度、長寿命アモルファス合金投射材「アモビーズ」の開発」、2004 年 9 月 29 日。

【新たな知見】

バルク金属ガラスを得るための合金開発指針として用いられる成分則を広く非平衡物質に対して拡張し、各非平衡合金を作製する際の汎用則として確立した。成分則は、(1)3 成分以上の多元系であること、(2)3 成分の原子寸法比が互いに 12%以上異なっていること、(3)3 成分が互いに負の混合熱を有していること、であり、拡張に際しては成分則を因子((a)合金成分数、(b)原子寸法比(%), (c)混合熱)とそれぞれの特性値に分けて考え、各種非平衡物質に対して、その傾向をまとめた。その結果、(I)バルク金属ガラス、(II)ナノ結晶分散バルク金属ガラス、(III)ナノ準結晶分散バルク金属ガラス、(IV)ナノ準結晶分散金属ガラスおよびナノ結晶合金、(V)超弾性固溶体に対して、(I)では(a,b,c)=( $\geq 3, \geq 12, < 0$ )、(II)では(a,b,c)=( $\geq 3, \geq 7, < 0$ )：一組の原子対は負に大きい値)、(III)では(a,b,c)=( $\geq 3, \geq 12, < 0$ )：一組の原子対は正の値)、(IV)では(a,b,c)=( $\geq 3, \geq 12$ )：一組の原子対 $\geq 5, < 0$ ：一組の原子対は正の値)、(V)では(a,b,c)=( $\geq 3, \geq 7, \geq 0$ )のように、きわめて明確に分類できることが明らかになった。この新しい知見は、バルク金属ガラスのみならず拡張成分則により各種非平衡材料を作製できる可能性を示唆しており、今後の合金開発にとって重要な知見が得られたものと考えられる。

【学問的・学術的なインパクト】

⑦のこれまでの研究経過で述べたように、5000MPa 超の高強度を有する新規非平衡材料を Co 基合金で見出した。これらの研究成果は、従来の結晶合金および如何なる非平衡系材料をもってしても到達することのできなかった高強度バルク材料であり、世界中の材料研究者に衝撃を与えた研究成果として認められている。現在、本合金を中心とした研究は国際共同研究に発展し、材料科学の一大研究分野として大きく展開する兆候がみられる。また、優れた軟磁性合金および新しい硬質磁性材料をいずれも世界に先駆けて発表され、今後、世界的な研究の中心となる重要な研究成果を本研究の遂行により輩出したといえる。1995 年に Fe 基多元系合金でバルク化が可能な金属ガラスを見出したが、高いガラス形成能を有する Fe 基合金の開発は世界的にみても困難を極めており、その中、本研究で新しく見出した Fe 族基合金は、今後の磁性合金開発に対して新しい道を切り拓く研究成果として、世界的に注目を集めつつある。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

## 【論文】

1. D.V. Louzguine, A.R. Yavari and A. Inoue: Mischmetal as an Alloying Addition to Amorphous Materials and Glass Formers, *J. Non-Cryst. Solid*, 255-260, 2003.
2. D.V. Louzguine, L.V. Louzguina and A. Inoue: Multistage Devitrification of Mg-Ni-Mm and Mg-Ni-Y-Mm Metallic Glasses(Mm=misch metal), *Philos. Mag*, 83, 203-216, 2003.
3. D.V. Louzguine and A. Inoue: Nanoparticles with Icosahedral Symmetry in Cu-based Bulk Glass Former Induced by Pd Addition, *Scripta Mater*, 48, 1325-1329, 2003.
4. D.V. Louzguine and A. Inoue: Influence of Ni and Co Additions on Supercooled Liquid Region, Devitrification Behaviour and Mechanical Properties of Cu-Zr-Ti Bulk Metallic Glass, *J. Metastable Nanocryst. Mater*, 15-16, 31-36, 2003.
5. A. Inoue, W. Zhang, T. Zhang, K. Kurosaka and D.V. Louzguine: New Cu-and Ni Based Bulk Glassy Alloys with High Strengths of 2500 to 3000 MPa, *J. Metastable Nanocryst. Mater.*, 15-16, 3-10, 2003.
6. D.V. Louzguine and A. Inoue: Structural and Thermal Investigations of a High-Strength Cu-Zr-Ti-Co Bulk Metallic Glass, *Phil. Mag. Lett.*, 83, 191-196, 2003.
7. A. Inoue, B.L. Shen, A.R. Yavari and A.L. Greer: Mechanical Properties of Fe-Based Bulk Glassy Alloys in Fe-B-Si-Nb and Fe-Ga-P-C-B-Si Systems, *J. Mater. Res.*, 18, 1487-1492, 2003.
8. A. Takeuchi and A. Inoue: Computer-Aided Development of Multicomponent Metallic Glasses, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 754, 35-46, 2003.
9. A. Inoue, H.M. Kimura and A. Takeuchi: Mechanical Properties of Metastable Alloys with Novel Atomic Configurations Obtained by Use of Stabilization of Supercooled Liquid, *Mater. Sci. Forum.*, 426-432, 3-10, 2003.
10. D.V. Louzguine and A. Inoue: Effect of Ni on Stabilization of the Supercooled Liquid and Devitrification of Cu-Zr-Ti Bulk Glassy Alloys, *J. Non-Cryst. Solid.*, 325, 187-192, 2003.
11. D.V. Louzguine, A.R. Yavari and A. Inoue: Devitrification Behaviour of Cu-Zr-Ti-Pd Bulk Glassy Alloys, *Philos. Mag.*, 83, 2989-3003, 2003.
12. D.V. Louzguine and A. Inoue: Effect of Ni on Stabilization of the Supercooled Liquid and Devitrification of Cu-Zr-Ti Bulk Glassy Alloys, *J. Non-Cryst. Solid.*, 325, 187-192, 2003.
13. D.V. Louzguine, H. Kato, H. S. Kim and A. Inoue: Formation of 2-5 nm Size Pre-precipitates of cF96 Phase in a Hf-Co-Al Glassy Alloy, *J. Appl. Compounds*, 359, 198-201, 2003.
14. D.V. Louzguine and A. Inoue: Gold as an Alloying Element Promoting Formation of a Nanoicosahedral Phase in a Cu-Based Alloy, *J. Alloys Comp.*, 361, 153-156, 2003.
15. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: Investigation of Mechanical Properties and Devitrification of Cu-based Bulk Glass Formers Alloyed with Noble Metals, *Sci. Tech. Advanced Mater.*, 4, 327-331, 2003.
16. A. Inoue, W. Zhang, T. Zhang, K. Kurosaka and D.V. Louzguine: New Cu-and Ni-Based Bulk Glassy Alloys with High Strength of 2500 to 3000 MPa, *J. Metastable Nanocryst. Mater.*, 15-16, 3-10, 2003.
17. A. Inoue, H.M. Kimura and S. Yamaura: Production and Mechanical Properties of Aluminum Alloys with Dispersed Nanoscale Quasicrystalline and Amorphous Particles, *Metals and Mater. Inter.*, 9, 527-536, 2003.
18. A. Inoue and W. Zhang: Bulk Glassy Cu-based Alloys with a Large Supercooled Liquid Region of 110 K, *Appl. Phys. Lett.*, 8, 2351-2353, 2003.
19. A. Inoue, I. Yoshii, H.M. Kimura, K. Okumura and J. Kurosaki: Enhanced Shot Peening Effect for Steels by Using Fe-based Glassy Alloy Shots, *Mater. Trans.*, 44, 2391-2395, 2003.
20. A. Inoue, B. Shen, H. Koshiba, H. Kato and A.R. Yavari: Cobalt-Based Bulk Glassy Alloy with Ultrahigh Strength and Soft Magnetic Properties, *Nature Materials*, 2, 661-663, 2003.
21. A. Inoue and B. Shen: Soft Magnetic Properties of Nanocrystalline Fe-Co-B-Si-Nb-Cu Alloys in Ribbon and Bulk Forms, *J. Mater. Res.*, 12, 2799-2806, 2003.
22. A. Inoue and W. Zhang: Formation and Mechanical Properties of Cu-Hf-Al Bulk Glassy Alloys with a Large Supercooled Liquid Region of over 90K, *J. Mater. Res.*, 6, 1435-1440, 2003.
23. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: High-Strength Cu-Based Crystal-Glassy Composite with Enhanced Ductility, *Appl. Phys. Lett.*, 84, 1088-1089, 2004.
24. A. Inoue and W. Zhang: Formation, Thermal Stability and Mechanical Properties of Cu-Zr and Cu-Hf Binary Glassy Alloy Rods, *Mater. Trans.*, 45, 584-587, 2004.
25. A. Inoue, B.L. Shen, H. Koshiba, H. Kato and A.R. Yavari: Ultra-High Strength above 5000 MPa and Soft Magnetic Properties of Co-Fe-Ta-B Bulk Glassy Alloys, *Acta Mater.*, 52, 1631-1637, 2004.
26. D.V. Louzguine, Lj. Ouyang, H.M. Kimura and A. Inoue: Transformation from Glassy + $\beta$ -Zr to Glassy + Icosahedral Structure in Zr-Based Alloy, *Scripta Mater.*, 50, 973-976, 2004.
27. A. Inoue, W. Zhang and J. Saida: Synthesis and Fundamental Properties of Cu-Based Bulk Glassy Alloys in Binary and Multi-Component Systems, *Mater. Trans.*, 45, 1153-1162, 2004.
28. A. Inoue and A. Takeuchi: Bulk Nonequilibrium Alloys by Stabilization of Supercooled Liquid: Fabrication and Function Properties, CP708, Slow Dynamics in Complex Systems: 3rd International Symposium, 547-558, 2004.

29. A. Inoue, S. Sobu, D.V. Louzguine, H.M. Kimura and K. Sasamori: Ultrahigh Strength Al-Based Amorphous Alloys Containing Sc, *J. Mater. Res.*, 19, 1539-1543, 2004.
30. D.V. Louzguine and A. Inoue: Devitrification of Ni-Based Glassy Alloys Containing Noble Metals in Relation with the Supercooled Liquid Region, *J. Non-Cryst. Solid.*, 337, 161-165, 2004.
31. D.V. Louzguine and A. Inoue: Nanoscale Icosahedral Phase Formation in Cu-Based Bulk Glass Formers, *J. Metastable Nanocryst. Mater.*, 20-21, 47-52, 2004.
32. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: High Strength and Ductile Bulk Ti-Ni-Cu-Nb Alloys with Submicron-Size Structure Units Obtained by Arc-Melting, *J. Alloys Comp.*, 375, 171-174, 2004.
33. D.V. Louzguine and A. Inoue: Influence of Supercooled Liquid on Devitrification of Cu-, Hf- and Ni-based Metallic Glasses, *Mater. Sci. Eng.*, A375-377, 346-350, 2004.
34. A. Inoue, B.L. Shen and C.T. Chang: Super-High Strength of over 4000 MPa for Fe-based Bulk Glassy Alloys in  $[(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{0.75}\text{B}_{0.2}\text{Si}_{0.05}]_{96}\text{Nb}_4$  System, *Acta Mater.*, 52, 4093-4099, 2004.
35. A. Inoue and B.L. Shen: New Fe-Based Bulk Glassy Alloys with High Saturated Magnetic Flux Density of 1.4-1.5T, *Mater. Sci. Eng.*, A375-377, 302-306, 2004.
36. A. Inoue and A. Takeuchi: Recent Progress in Bulk Glassy, Nanoquasicrystalline and Nanocrystalline Alloys, *Mater. Sci. Eng.*, A375-377, 16-30, 2004.
37. A. Takeuchi and A. Inoue: Calculations of Dominant Factors of Glass-Forming Ability for Metallic Glasses from Viscosity, *Mater. Sci. Eng.*, A375-377, 449-454, 2004.
38. A. Takeuchi and A. Inoue: Size Dependence of Soft to Hard Magnetic Transition in (Nb, Pr)-Fe-Al Bulk Amorphous Alloys, *Mater. Sci. Eng.*, A375-377, 1140-1144, 2004.
39. A. Takeuchi and A. Inoue: Thermodynamic and Kinetic Analyses of Formation of Amorphous and Nanocrystalline Alloys with the Aid of Computer and Database, *J. Optoelectronics and Advanced Mater.*, 6, 533-540, 2004.
40. D.V. Louzguine, S. Sobu and A. Inoue: The Influence of Scandium in Effecting Fragile to Strong Glass Transition in Aluminium-Based Alloys, *Appl. Phys. Lett.*, 85, 3758-3759, 2004.
41. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: High Strength and Ductile Binary Ti-Fe Composite Alloy, *J. Alloys Comp.*, 384, L1-L3, 2004.
42. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: High-Strength Hypereutectic Ti-Fe-Co Bulk Alloy with Good Ductility, *Phil. Mag. Lett.*, 84, 359-364, 2004.
43. D.V. Louzguine, A.R. Yavari and A. Inoue: In situ X-ray Diffraction and Calorimetric Studies of Devitrification Process in Cu-Based Bulk Glassy Alloys, *Appl. Phys. Lett.*, (2005), 0419061-0419063.

【国際会議、学会等における発表状況】

「国際会議・招待講演／基調講演」（発表：筆頭者）

1. A. Inoue: Sub-Nanoscale Structure-Controlled Alloys Produced by Stabilization of Supercooled Liquid, The 4th International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials (IPMM'03), Matsushima, Miyagi, Japan, May 22, 2003.
2. A. Inoue: Bulk Nonequilibrium Alloys by Stabilization of Supercooled Liquid: Fabrication and Functional Properties, The Fifth Kelly Lecture, University of Cambridge, U.K., June 12, 2003.
3. A. Inoue: Mechanical Properties of Metastable Alloys with Novel Atomic Configurations Obtained by Use of Stabilization of Supercooled Liquid, International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS Processing, Fabrication, Properties, Applications (THERMEC'2003), Leganes, Madrid, Spain, July 11, 2003.
4. A. Inoue: Fabrication and Functional Properties of Bulk Glassy Alloys in Late Transition Metal Base Systems, 10th International Symposium on Metastable, Mechanically Alloyed and Nanocrystalline Materials (ISMANAM2003), Foz do Iguacu, Brazil, August 25, 2003.
5. A. Takeuchi and A. Inoue: Computer-Aided Development of Multicomponent Metallic Glasses, ANMM03 (International Workshop for Amorphous and Nano Magnetic Materials), Iasi, Romania, September 16, 2003.
6. A. Inoue: Recent Progress in Fe- and Cu-based Bulk Glassy Alloys, Bulk Metallic Glasses III, Beijing, China, 2003/10/13.
7. A. Inoue: Bulk Nonequilibrium Metallic Materials by Stabilization of Supercooled Liquid: Fabrication, Functional Properties and Applications, Tohoku Univ. and Goettingen Univ. Forum, Goettingen Univ., Germany, October 23, 2003.
8. A. Inoue and A. Takeuchi: Stabilization of Supercooled Metallic Liquid and Bulk Glassy Alloys, The 3rd International Symposium on Slow Dynamics in Complex Systems, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ. Japan, November 8, 2003.
9. D. V. Louzguine, S. Ranganathan and A. Inoue: Investigations of Glassy and Nanostructured Metal-Metal Type Alloys, Conference Materials Science and Technology 2003, Fall Meeting of TMS Society, Chicago, Illinois, November 9, 2003.
10. A. Inoue: Nanoscale Structure-Controlled Alloys Fabricated by Stabilization of Supercooled Liquid: Properties and Applications, FIMS/ITSNs 2003 (Joint Meeting of the 2nd International Symposium on "Figure-oriented Interdisciplinary Materials Science" and the 1st International Tukuba-Symposium on "NanoScience"), Tsukuba, Japan, November 17, 2003.
11. A. Inoue: Icosahedral Transformation from Supercooled Liquid in Metal-Metal Type Bulk Glassy Alloys, MRS Fall Meeting 2003, Boston, MA, U.S.A., December 2, 2003.
12. A. Inoue: Formation and High-Strength Characteristics of Cu-based Bulk Glassy Alloys Containing Nanocrystalline and Nanoquasicrystalline Particles, First Japan-Australia Workshop on Advanced Materials, IMR, Tohoku Univ., Japan, January 16, 2004.

13. A. Inoue: Developments of New Metallic Materials by Using the Stabilization of Supercooled Liquid, Tohoku University -Cambridge University Forum, King's College, Cambridge University, June 10, 2004.
14. A. Inoue: Soft Magnetic Properties of Fe-M-B (M=Transition and Rare Earth Metals) Nanostructure Alloys and their Applications, The 7th International Conference on Nanostructured Materials (NANO2004), Wiesbaden, Germany, June 22, 2004.
15. A. Inoue: Stabilization of Supercooled Metallic Liquid and Bulk Glassy Alloys, The third Advanced Science Institute on New Frontiers of Functional Materials, Miyagi Zao, Miyagi, Japan, July 26, 2004.
16. A. Inoue: Mechanical and Magnetic Properties of Fe- and Co-Based Bulk Glassy Alloys, The Fifth Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM5), Beijing International Convention Centre, China, November 5, 2004.
17. A. Inoue: Nanocrystalline Fe-Pt-B Base Hard Magnets with High Coercive Force Obtained from Amorphous Precursor, 49th Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2004), Jacksonville, Florida, USA, November 8, 2004.
18. A. Inoue: Fabrication and Functional Characteristics of Fe- and Co-Based Bulk Glassy Alloys, 2004 International Symposium on Nano Science and Technology, Southern Taiwan University of Technology, TAINAN, TAIWAN, ROC, November 20, 2004.

「国際会議・口頭発表」(発表:筆頭者)

1. A. Takeuchi and A. Inoue: Development of Metallic Glasses by Semi-Empirical Calculation Method, 11th International Symposium on Metastable, Mechanically Alloyed and Nanocrystalline Materials (ISMANAM2004), Sendai, Japan, August 23, 2004.
2. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: Non-equilibrium arc-melted binary Ti-Fe bulk alloys with ultra-high strength and enhanced ductility, 11th International Symposium on Metastable, Mechanically Alloyed and Nanocrystalline Materials (ISMANAM2004), Sendai, Japan, August 23, 2004.
3. D. V. Louzguine, A.R. Yavari and A. Inoue: Nanoscale icosahedral phase formation in Cu-Zr-Ti-NM (NM=noble metals) bulk glassy alloys, The 1st Symposium on Advanced Metallic Materials, Posco Center, Seoul, Korea, April 7, 2004.

「学会・基調講演」(発表:筆頭者)

1. A. Inoue, B.L. Shen, W. Zhang and A. Takeuchi: Alloy Search of Bulk Glassy Alloys with Good Engineering Properties, 135th JIM (Japan Institute of Metal) Meeting, Akita, Japan, September 28, 2004.
2. A. Takeuchi and A. Inoue: Development of Bulk Metallic Glasses Using Thermodynamic Calculations Assisted with Database, 135th JIM (Japan Institute of Metal) Meeting, Akita, Japan, September 28, 2004.
3. 井上明久: バルク金属ガラスの創製と応用、第 65 回応用物理学会学術講演会「アモルファス物質の新展開と応用」シンポジウム、東北学院大学泉キャンパス、2004 年 9 月 3 日。
4. 井上明久、木村久道、藤田雅: 準結晶粒子分散型軽金属合金、日本金属学会 2005 年春期 (第 136 回) 大会、横浜国立大学常盤台キャンパス、2005 年 3 月 29 日。
5. 井上明久: 新金属文明の幕開け、東北大学 100 周年記念セミナー 第 2 回「サイエンスの冒険と私たちの暮らし」- 宇宙・地球・生命と未来文明 -、日経ホール、2005 年 4 月 14 日。

「学会・口頭発表」(研究分担者発表分のみを抜粋)

1. D.V. Louzguine and A. Inoue: Devitrification of Cu- and Ni-based glassy alloys containing noble metals, 133th JIM Autumn Meeting, Hokkaido, November 11, 2003.
2. 竹内章、井上明久: 二元系アモルファス合金の生成および結晶化の動力学的および熱力学的検討、第 133 回日本金属学会、北海道、2003 年 11 月 12 日。
3. D.V. Louzguine and A. Inoue: Glass-formation and devitrification behaviour of Cu- and Ni-based alloys, 134th JIM Spring Meeting, Tokyo, March 30, 2004.
4. 竹内章、井上明久: 弾性エンタルピー評価によるアモルファス相生成のための原子寸法差の効果の解析、第 134 回日本金属学会、東京、2004 年 3 月 31 日。
5. D.V. Louzguine and A. Inoue: Al-based marginal glass formers: particles versus pre-existed nuclei, 135th JIM Autumn Meeting, Akita, September 28, 2004.
6. D.V. Louzguine, H. Kato and A. Inoue: Non-equilibrium Ti-Fe bulk alloys with ultra-high strength and enhanced ductility, 135th JIM Meeting, Akita, September 28, 2004.
7. 竹内章、井上明久: 構成元素の原子寸法差、混合熱、周期による金属ガラスの分類とバルク金属ガラス生成組成の算出、第 135 回日本金属学会、秋田、2004 年 9 月 28 日。
8. D.V. Louzguine and A. Inoue: Structure and Devitrification of Rapidly-Solidified Fe-Pt-B Alloy, 136th JIM Meeting, Yokohama, March 28, 2004.
9. D.V. Louzguine, L.V. Louzguina, H. Kato and A. Inoue: Investigation of Ti-Fe-Co Bulk Alloys with High Strength and Enhanced Ductility, 136th JIM Meeting, Yokohama, March 28, 2004.
10. 竹内章、井上明久: 自由体積理論に基づく非線形微分方程式の近似解の導出によるガラス遷移現象の解析、日本金属学会 2005 年春期 (第 136 回) 大会、横浜国立大学常盤台キャンパス、2005 年 3 月 30 日。