

令和2年8月18日

報道機関 各位

東北大学学際科学フロンティア研究所

## 連続的に構造の異なる金属ガラスの作製に成功 - ランダム構造ガラス状態の新たな高度構造制御法の開発 -

### 【発表のポイント】

- ・金属ガラスの緩和状態(構造の乱雑性)を制御する技術として、2次元傾斜急冷技術を開発し、連続的に構造の異なるガラスを作製することに成功しました。
- ・2次元傾斜緩和状態制御された金属ガラスを変形させたところ、室温での塑性変形中に変形機構の段階的な変化と相互作用が起こり、高靱性化が達成されるとともに、見かけ上の加工硬化現象の発現を確認しました。
- ・2次元傾斜緩和状態制御という新しい構造制御法を通じて、今後ランダム構造材料制御における多様な学理構築と特性改善が強く期待されます。

### 【概要】

金属ガラス(注1)は優れた機械的、磁気的特性や加工成型性をもつ一方で、その変形機構に起因する室温での脆性が問題となっていました。東北大学学際科学フロンティア研究所のRyu Wookha学術研究員、山田類助教、才田淳治教授のグループは、金属ガラスの緩和状態(構造の乱雑性)(注2)を制御する技術として、2次元傾斜急冷技術(注3)を開発し、連続的に構造の異なるガラスを作製することに成功しました。

今回の研究では、金属ガラスにおいてランダムな原子配列を試料内に連続的に2次元傾斜させて制御するという、全く新しい高度な構造制御法を開発することで、新たな材料創製と優れた特性を発現できる可能性が考えられ、本分野の学術研究に大きな知見を与えるものと考えられます。

本研究は科学研究費補助金基盤研究A(No. 18H03829)および学際科学フロンティア研究所「学際研究促進プログラム」の支援を受けて実施されたもので、英国の科学雑誌「NPG Asia Materials」に令和2年7月31日に掲載されました。

## 【詳細な説明】

### [研究の背景]

金属ガラスはランダム構造を有する材料で、優れた機械的、磁気的特性や加工成型性をもつ一方、その変形機構に起因する室温での脆性が問題となっていました。特に実用上、一定形状の材料が必要なことから、低冷却速度での製造や種々の加工が必須で、それによって容易に緩和した状態に遷移し、急激に脆化が進行するという欠点がありました。これまで一旦緩和した金属ガラスはエネルギー的に安定なため、再度溶解して作り直さなければ未緩和状態に戻らないとされていました。

研究グループでは、緩和状態をもとに戻せる加熱温度とその後の冷却処理について詳細な検討を行い、一旦緩和した金属ガラスであっても、適正な条件下で未緩和状態に戻せる(構造若返り)ことを見いだしていました。この構造若返りによる緩和状態制御によって、失われていた塑性変形性(靱性)が復活することも見だし、本分野において非常に注目される研究となりました。

今回、我々のグループは上記の手法をさらに進化させ、真空雰囲気下で2次元傾斜冷却を可能にする装置を開発することで、これまでにない新たな構造制御法を提案でき、さらに新規の特性が発現できるのではないかと考えました。

### [研究内容と成果]

Zr<sub>60</sub>Cu<sub>30</sub>Al<sub>10</sub>金属ガラスに2次元傾斜急冷熱処理を行うことで、試料中の緩和状態が連続的に変化するガラス構造を作製することに成功しました。また、そのような緩和状態の連続的遷移に対応して、硬度も連続的に変化する等、特異な状態が得られていることが分かりました。圧縮機械試験を行ったところ、これまでの均一な緩和状態をもった金属ガラスに比べて、塑性変形性(靱性)が著しく向上していることがわかり、さらに通常の金属ガラスでは起こらないとされる加工硬化(加工によって強度が上昇する状態)のような現象も観察されました。このような特異な変形機構は、緩和状態の変化にともなって、変形帯(注4)の発生と進行が塑性変形とともに変化させられ、それらが相互作用してしまうという、通常は起こりえない現象が起きたためと考えられています。今回の一連の成果は金属ガラスの基礎・応用研究の両側面に新しい、そして重要な知見を与えるものと考えられます。

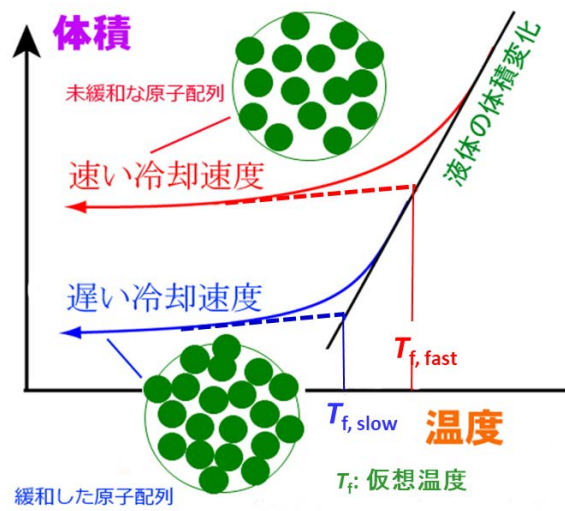


図1 金属ガラスの冷却速度と緩和状態の模式図  
(早い冷却速度ほど不規則性が増し、空隙が多くなる)

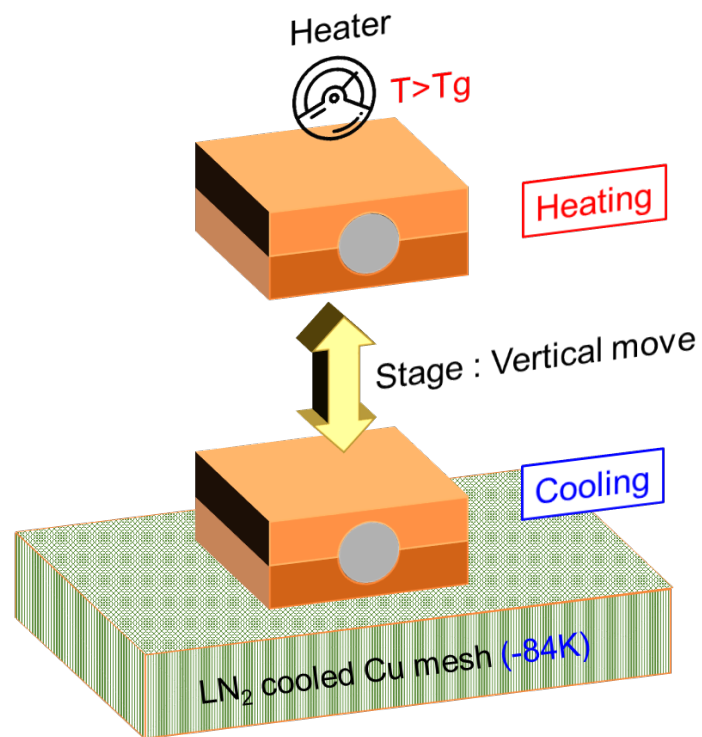


図2 2次元傾斜急冷熱処理の模式図

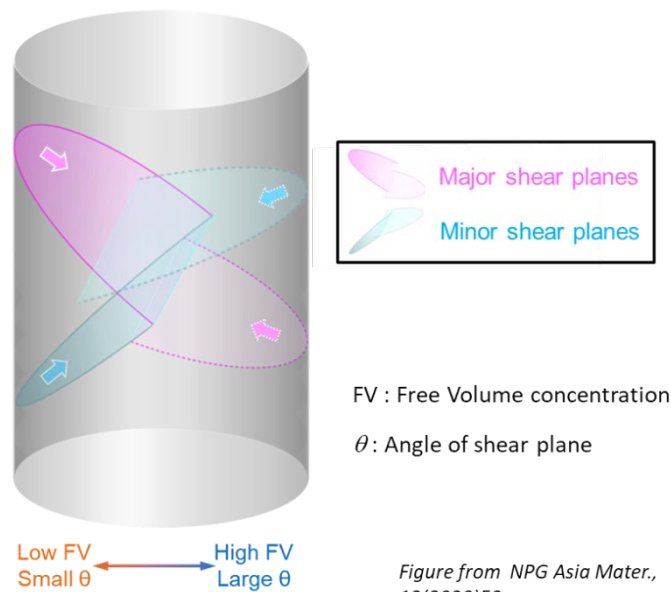


図 3 高靱性化および見かけ上の加工硬化現象発現の説明図  
 (緩和状態(自由体積量)の違いによる2種類のすべり面の  
 相互作用によって高靱性および見かけ上の加工硬化現象が現れる)

【用語解説】

(注 1) 金属ガラス

ある種の合金を液体状態から急冷を施すと、液体のランダム構造を室温で凍結した状態が達成され、金属ガラスと呼ばれます。金属ガラスは室温では優れた強度特性を示し、またガラス加工が可能な温度域(過冷却液体温度域)では優れた精密成型性を示すことから、その応用が大いに期待されています。しかしながら、変形が局所的な粘性流動すべりによって進行するために、室温での塑性変形性(靱性)が乏しいという欠点があり、世界的にその改善のための研究が進められています。

(注 2) 緩和状態

金属ガラスは、構成原子がランダムに配置している状態です。しかし、そのランダム度は、作製時の冷却速度やその後の加工によって変化します。よりランダムな構造を未緩和状態といい、局所的な原子配列がよりルーズであって、試料中に含まれる空隙(自由体積といいます)が多い状態になります。一般に緩和したガラスは急激に脆化が進むことが知られており、実用上、未緩和状態が望まれます。研究グループでは、近年この緩和状態を制御する(未緩和状態に戻す)研究を進めています。

(注 3) 2次元傾斜急冷熱処理

バルク状金属ガラスを銅製の治具ではさみ、真空中で一定温度に加熱後に片方を液体窒素冷却した銅製メッシュに接触させることで、試料内の冷却速度を2次元的に傾斜させることができる熱処理方法で、研究グループの独自のアイデアに基づいて装置を構築しました。

(注 4) 変形帯

金属ガラスの室温での変形は、材料の一部が応力によって局所的に温度が上がり、その結果、粘性流動すべり(水飴のような状態になってすべること)が生じることで進行します。このすべりが生じた領域を変形帯といいます。マクロ的に均一な金属ガラスでは、一旦変形帯が生じてすべりが起こると、それを阻止する機構がないため、一気に破壊へと進展することが知られています。これが塑性変形性(靱性)が乏しい原因です。

【論文情報】

論文名 : Tailored hardening of ZrCuAl bulk metallic glass induced by 2D gradient rejuvenation

著者 : W.H. Ryu, R. Yamada and J. Saida

掲載誌 : NPG Asia Materials

doi : 10.1038/s41427-020-0233-8

URL : <https://doi.org/10.1038/s41427-020-0233-8>

【問い合わせ先】

(研究に関して)

教授 才田淳治

東北大学学際科学フロンティア研究所

仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

電話:022-795-5752 Eメール:jsaida@fris.tohoku.ac.jp

(報道に関して)

URA 鈴木一行

東北大学学際科学フロンティア研究所

仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

電話:022-795-4353 Eメール:suzukik@fris.tohoku.ac.jp