

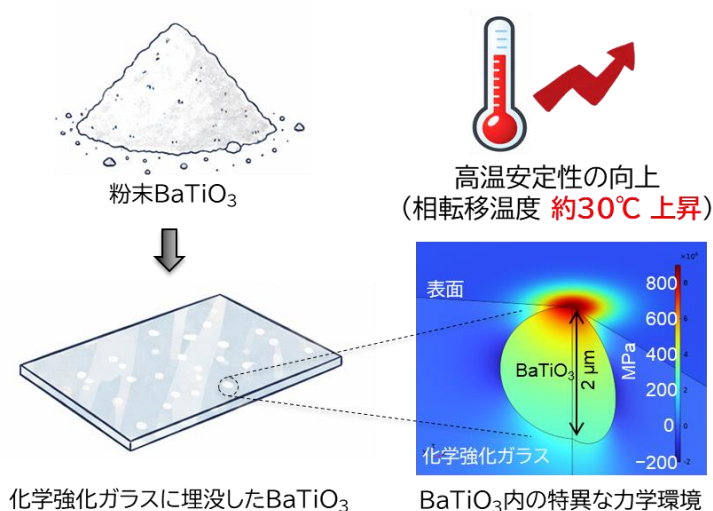
ガラス強化技術で電子材料の特性を制御

—化学強化ガラスの新しい応用展開—

概要

京都大学大学院工学研究科 材料化学専攻ガラス基礎科学講座の寺門信明 特定准教授、東北大学大学院工学研究科の安達海渡 修士課程学生（研究当時）、藤原 巧 教授（研究当時、現：東北職業能力開発大学校 学長）らの研究グループは、スマートフォンのカバーガラスに用いられる化学強化技術を応用し、電子材料であるチタン酸バリウムの相転移温度を約 30°C 上昇させることに成功しました。

化学強化ガラスは、化学的な処理によってガラス表面に圧縮応力を与えて割れにくくしたガラスであり、スマートフォンのカバーガラスなどに広く利用されています。本研究では、このガラス表面に生じる応力場に着目し、ガラス中に電子材料を組み込むことで、電子材料の相転移挙動が変化することを明らかにしました。本成果は、化学強化ガラスを単なる保護材としてではなく、内部応力を利用して材料機能を向上させる基盤材料として捉え直すものであり、電子材料や機能性材料の新たな設計指針を提示するものです。なお、本研究成果は 2026 年 1 月 17 日に国際学術誌「*Journal of Alloys and Compounds*」にオンライン掲載されました。



ガラスの化学強化処理によって、通常の加圧では再現が難しい特異な力学環境がチタン酸バリウム（BaTiO₃）内部に形成され、その結果として相転移温度の上昇が引き起こされる。

1. 背景

私たちは日常生活の中でさまざまなガラス製品を利用しています。その中でも最も身近なものの一つがスマートフォンのカバーガラスです。本来、ガラスは割れやすい材料として知られていますが、スマートフォンに用いられているガラスは特定の化学処理によって高い強度を実現しています。この化学強化技術により、ガラス表面には最大で約1万気圧に相当する圧縮応力が蓄えられ、割れの原因となるヒビの進行が抑えられています。私たちは、こうした「見えない力」の恩恵を日常的に受けているのです。

ガラスがこれほど大きな力を蓄えられるのは、結晶材料には見られない特有の原子構造を持っているためです。しかし、この「力を蓄える」という優れた性質は、これまで主にガラス自身の割れやすさを補う目的に限って利用されてきました。一方で、結晶材料の中には、外部からの力によって特性が変化したり、新しい機能が現れたりするものが数多く知られています。そこで本研究では、化学強化ガラスが生み出す力を活用し、結晶材料の特性を制御できないかと考えました。

2. 研究手法・成果

本研究では、結晶材料としてチタン酸バリウム (BaTiO_3) に着目しました。チタン酸バリウムは、歪んだ結晶構造を持つことにより、電気を多く蓄えられる性質や高感度な応答特性を示し、現代のエレクトロニクスを支える重要な電子材料として広く利用されています。しかし、この結晶の歪みは高温 (約 120°C) になると消失し、それに伴って電子材料としての性能も低下します。そのため、高温環境での利用を見据え、歪みが失われる温度、すなわち相転移温度を高める材料開発が進められてきました。本研究では、ガラスが高温で軟化する性質を利用してチタン酸バリウム粉末をガラス表面に埋め込みました。さらに、ガラスの強化手法の一つであるイオン交換処理 (注1) を施すことで、ガラス表面に圧縮応力を導入し、この応力が結晶の歪みに影響を与えることを期待しました。その結果、チタン酸バリウムの相転移温度が約 30°C 上昇することを確認しました。このような化学強化ガラスを用いた結晶材料の特性変化はこれまでほとんど報告されておらず、本研究はその新たな可能性を示すものです。相転移温度上昇の要因を探るため、有限要素法 (注2) によるシミュレーションを行ったところ (図1)、通常の機械的な加圧では再現が難しい応力分布が結晶内部に生じていることが示されました。これらの結果から、化学強化ガラスが生み出す特有の力学環境が結晶構造に影響を与え、相転移挙動の変化につながった可能性があると考えられます。本研究は、ガラスをいわば「持ち運べる加圧場」として活用し、結晶材料の特性に働きかける新しい材料設計の考え方を提示するものです。

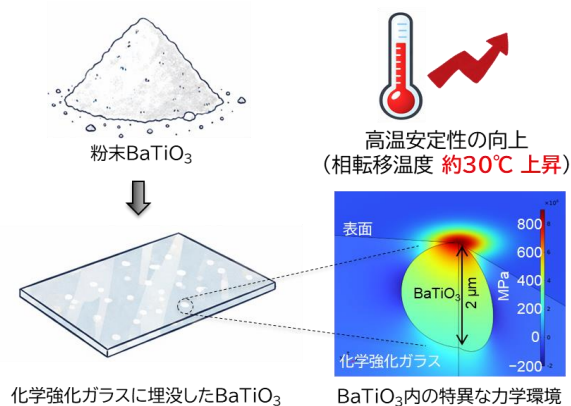


図1. 実験の模式図。ガラスの化学強化処理により、通常の外部加圧では実現できない特異な力学環境がチタン酸バリウム (BaTiO_3) 内部に形成される。右下図は、その力学状態を有限要素法によりシミュレーションした結果であり、この特異な力学環境が BaTiO_3 の相転移温度を向上させることを示している。

3. 波及効果、今後の予定

結晶材料の中には、加圧によって電気特性や光学特性が変化したり、新たな機能が発現したりするものがあります。代表例として、抵抗ゼロで電流が流れ続ける超伝導材料や、光を自在に制御できる非線形光学材料（注3）などが知られています。本研究で示した化学強化ガラスが生み出す特異な力学環境は、こうした機能の発現にも応用できる可能性があります。また、本研究では加圧材料として透明なガラスを用いている点も重要な特徴です。現在、光が伝わる透明材料と、機能をもつ電子材料・光学材料を組み合わせる光電融合技術（注4）の研究が活発に進められており、材料の複合化はその中核となるプロセスです。本研究で実証した、透明ガラスによるポータブルな機能性付与技術は、このような分野へも波及することが期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は GIC/NGF ガラス研究振興プログラムの助成を受けて行われました。

<用語解説>

1. ガラスのイオン交換処理：ガラスを溶融させることなく、ガラス中に含まれるナトリウムイオン (Na^+) などのアルカリイオンを他のイオンと交換する処理（図 2a）。化学強化ガラスでは、この処理により、 Na^+ などのアルカリイオンを K^+ などのより大きなイオンと強制的に置換することで、ガラス表面に圧縮応力を導入する。

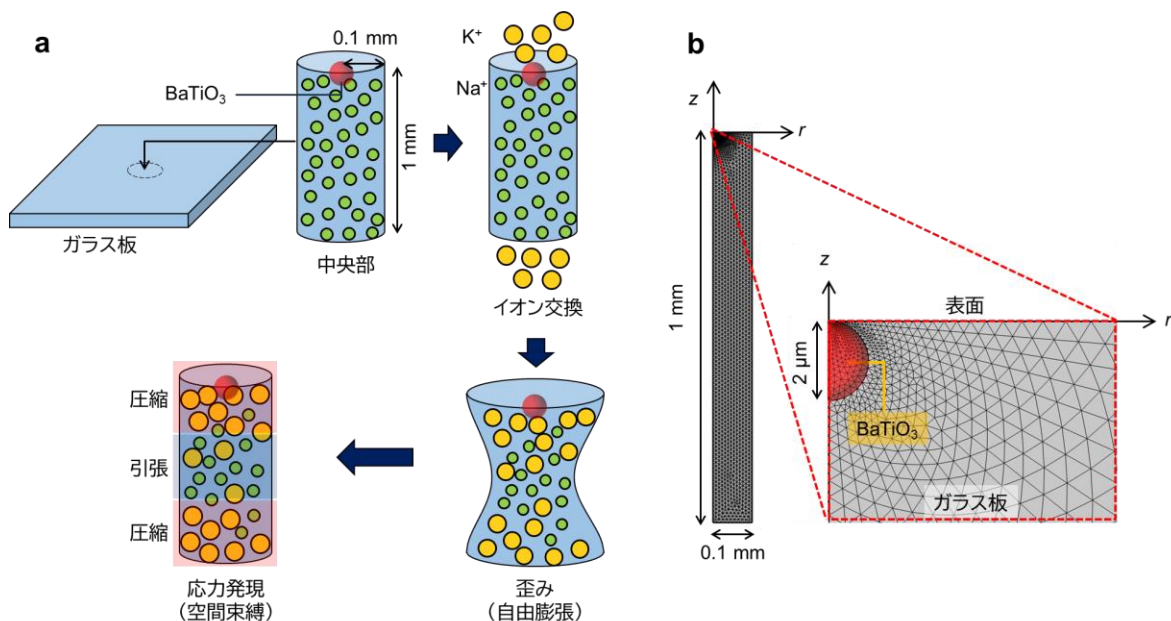


図 2. a) イオン交換処理によるガラス表面への圧縮応力の導入。b) 有限要素法による解析モデルの模式図。

2. 有限要素法：複雑な形状や材料の中で起こる「力のかかり方」「変形」などを、コンピュータ上で予測するための計算手法。対象となる物体を非常に小さな要素（メッシュ）に分割し（図 2b）、それぞれの要素の挙動を計算して全体を組み合わせることで、実験では測定が難しい現象も高精度に解析できる。
3. 非線形光学現象：光が物質に当たったとき、通常とは異なる振る舞いを示す現象。一般的には、光の強さを変えても反射や透過の割合は比例して変化するが、強い光を照射すると、この比例関係が崩れ、光の色（波長）が変わったり、新しい光が発生したりする。さらに、材料によっては外部から電圧を加えること

で、光の通りやすさや発生する光の性質を制御することができる。

4. 光電融合技術：光による高速伝送と電気による制御を一体化させた次世代の情報処理技術

<研究者のコメント>

私たちはこれまで化学強化ガラスそのものの特性に関する研究を進めてきました。その過程で、化学的処理という比較的簡便なプロセスによって巨大な応力を導入できる材料は、ガラス以外にほとんど存在しないのではないかと考えるようになりました。また、この特性は、ガラスの割れやすさという弱点を補う用途に主に用いられてきましたが、その潜在的な価値は十分に活かされていないと考えていました。本研究では、化学強化ガラスに新たな役割を実証できました。今後は、この役割に基づく実材料の創出を目指し、さらなる研究を進めていきます。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Elevating the phase transition temperature of BaTiO₃ microcrystals buried in glass: Inducing a stress field via chemical strengthening (ガラスに埋没した BaTiO₃ 微粒子の相転移温度向上：化学強化による応力場の導入)

著者：Kaito Adachi, Nobuaki Terakado, Takumi Fujiwara

掲載誌：Journal of Alloys and Compounds

DOI：<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2026.186242>