

2025 年 5 月 19 日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学

国立大学法人東京大学

加圧により水を取り出せる材料を開発

結晶中に空隙を持つ化合物である銅―クロム・プルシアンブルー類似体に圧力を加えることで、内部に保持されていた水分を排出させる現象を見いだしました。本材料は、乾燥地域などでも温度や湿度の制御を必要とせず、加圧のみで水を得ることのできる、新たなオンサイト水生産技術として期待されます。

銅―クロム・プルシアンブルー類似体は、結晶中に空隙（細孔）を持つ化合物です。これに圧力を加えることで、内部に保持されていた水分を排出させる現象を見いだしました。これまでに報告されているオンサイト水生産技術は温度差や湿度差を利用するため、自然環境に依存しやすい上に、長時間の環境変化を待つ必要がありましたが、本材料は温度や湿度の制御を必要とせず、単純な加圧操作のみで水を取り出すことが可能であることを示しました。

本研究では、この銅―クロム・プルシアンブルー類似体に 1 ギガパスカルの圧力を加えると、結晶内部の細孔に保持されていた水分が外部に排出され、肉眼で確認できる水滴が発生しました。また、1 kg あたり約 240 g の水が得られることが分かりました。圧力前後の赤外分光測定や X 線吸収、蛍光分光測定の結果から、圧力によって結晶中の空隙に存在する水分子と銅の電子状態が変化し、もともと親水性だった細孔が疎水化することで、水分が排出される仕組みを明らかにしました。

この成果は、乾燥地域など過酷な環境下における新たなオンサイト（現地）水生産技術の実現に資するものであり、水資源再利用技術の開発にも新たな視点を提供すると期待されます。

研究代表者

筑波大学数理物質系

所 裕子 教授

東京大学大学院理学系研究科

大越 慎一 教授

研究の背景

地球規模で深刻化する水資源問題は、特に乾燥地域や内陸地域において人々の生活に大きな影響を及ぼしています。海水淡水化や浄水技術は広く普及していますが、これらは主に沿岸部で利用されるものであり、内陸部や水資源の限られた地域では十分な対応が難しいのが現状です。このような背景から、現地で簡便に水を得ることができる「オンサイト水生産技術」の開発が求められています。

従来、オンサイトで水を得る手法としては、湿度差や温度差を利用して空気中の水分を凝縮させる技術が研究されてきました。例えば、ゼオライトやシリカゲル、金属有機構造体などの多孔質材料を利用した水収集システムが報告されています。しかし、これらの方法は、昼夜の温度差や周囲湿度の変動を利用するため、自然環境に依存しやすい上に、長時間の環境変化を待つ必要がありました。

一方、機能性材料科学の分野では、圧力や光などの外部刺激に応答して構造や性質が変化するスイッチング材料が注目されています。特に、プルシアンブルー類似体（PBA）^{注1)}は結晶構造中に欠陥部位や空隙（細孔）を持ち、かつ圧力に対して構造に耐久性があることが知られていました。

そこで本研究では、温度差や湿度差を利用せず、圧力という物理的刺激のみで材料内部から水を取り出す新たな手法を検討しました。銅－クロム・プルシアンブルー類似体（CuCr PBA）に着目し、圧力をかけて結晶内部の空隙に存在する水を排出させるという、新しいタイプのオンサイト水生産技術を開発しました。

研究内容と成果

本研究では、銅－クロム・プルシアンブルー類似体（CuCr PBA）に圧力を加えると、結晶内部に保持されていた水が排出される新しい現象を見いだしました。従来、物質の内部から水を取り出すためには、温度や湿度の制御を必要とする手法が一般的でしたが、本材料は、圧力という単純な物理的刺激のみで水を排出させることが可能です。

CuCr PBA 粉末に対して 1 ギガパスカル^{注2)}の圧力を 10 分間加えたところ、結晶内部の細孔に保持されていた水分が結晶外に押し出され、肉眼でも確認できる量の水滴が発生しました（図 1）。回収実験の結果、13.5 mg の試料から平均して 3.2 mg の水が得られ、これは、1 kg あたり約 240 g の水を生産できる計算になります。この現象は、特別な温度や湿度の調整を必要とせず、圧力操作のみで即座に水を取り出すことができる点が大きな特長です。

さらに、赤外分光、放射光を利用した X 線吸収・放出分光、X 線回折測定を用いて、加圧前後の結晶構造と電子状態の変化を詳細に調べました。その結果、圧力を加えることで、結晶中の欠陥部位に存在する水分子と銅イオンの間に部分的な電子移動が起こり、水分子同士の水素結合が弱まって、もともと親水性だった細孔が疎水性へと変化することが明らかになりました（図 2）。この疎水化により、結晶内に保持されていた水分子が結晶外に押し出されるというメカニズムが示唆されました。なお、圧力印加後も CuCr PBA の結晶構造は大きく変化せず、立方晶の骨格が保持されていることも X 線回折測定により確認されました。さらに、同様の実験を、銅やクロム以外の元素からなるプルシアンブルー類似体にも適用して比較検討したところ、この現象は、クロムを含むプルシアンブルー類似体に特有であると考えられます。

本研究は、結晶構造内の細孔に保持された水分子を、圧力刺激によって取り出すという新たな現象とそのメカニズムを初めて示しました。この成果は、乾燥地帯など厳しい環境下でのオンサイト水生産技術に向けた新しいアプローチであるとともに、圧力を利用した機能性材料の開発にも新たな指針を与えると期待されます。

今後の展開

本研究は、圧力という物理的刺激によって物質から水を取り出す新しい現象を明らかにしました。今後は、圧力応答による水生産のメカニズムをさらに深く解明し、より高効率かつ繰り返し使用可能な耐久性の高い材料の開発を目指します。圧力刺激によって材料の親水性・疎水性を制御するという新たな機能性の発現は、さまざまな機能性材料の設計・開発に貢献すると期待されます。

参考図

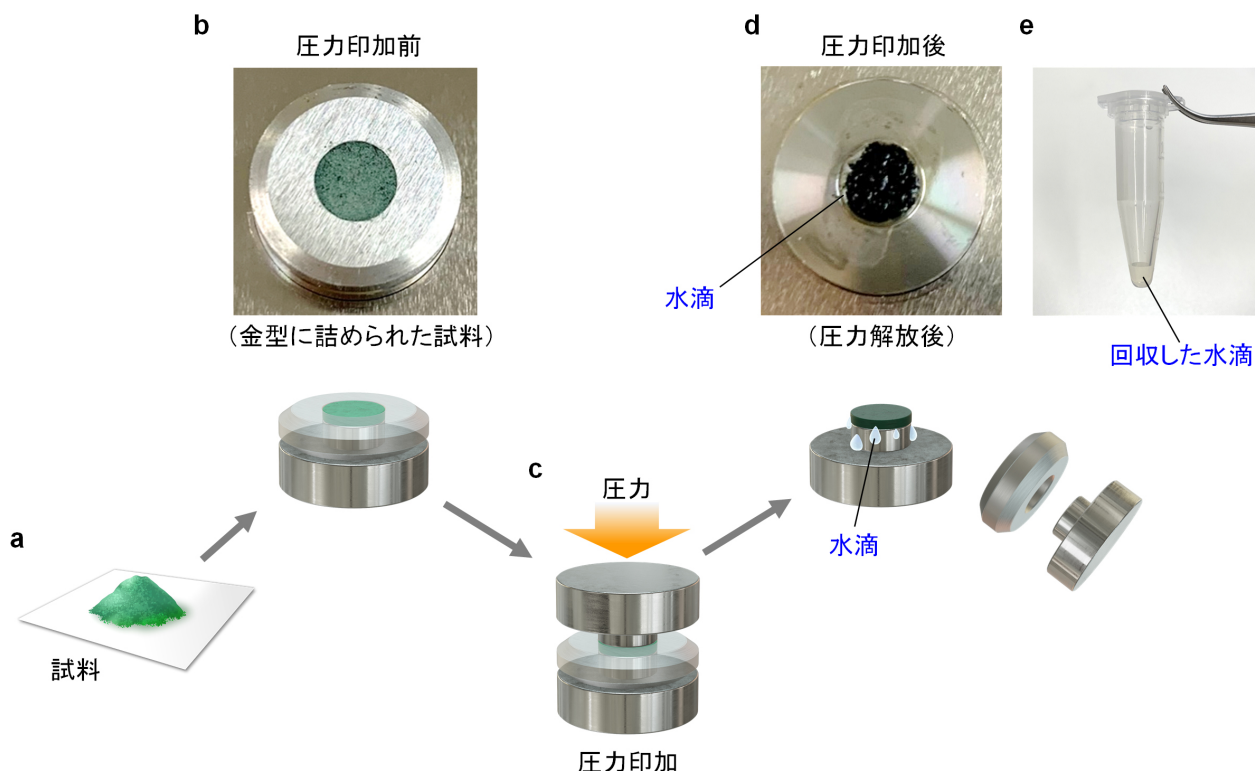


図1 銅クロム・プルシアンブルー類似体 (CuCr PBA) における圧力印加による水生成実験
粉末試料 (a) を型に詰め (b)、ペレット成型機を使って圧力を 10 分間加えた (c)。圧力を開放すると、試料からの水の排出が確認された (d)。排出された水を回収した写真 (e)。

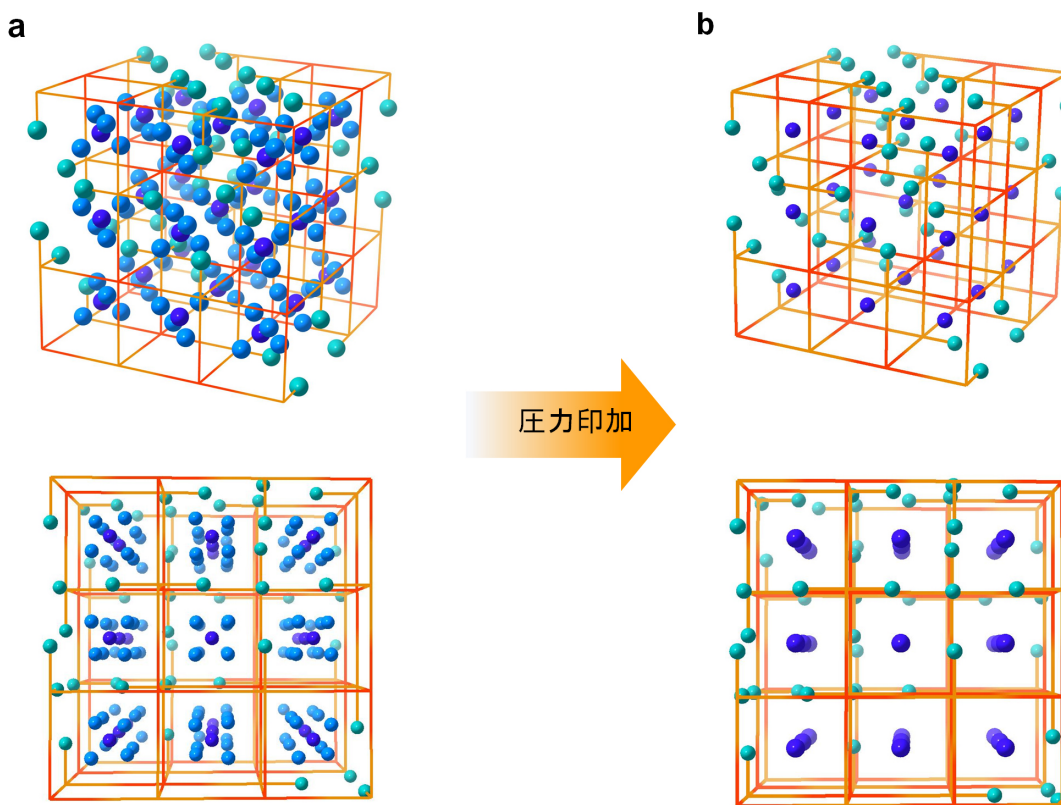


図2 銅クロム・プルシアンブルー類似体における結晶構造と水分子の存在位置

オレンジ色の線で示すジャングルジム状の立方晶構造は、銅 (Cu)、クロム (Cr)、シアノ基 (CN) からなる結晶骨格を表す。青および水色の球は水分子中の酸素を示しており、水色の球は銅に配位した配位水の酸素、濃い青の球は細孔中心に存在する格子水の酸素、青色の球は細孔中心周辺に存在する酸素を表す。圧力を印加した後は、青色の球で示される細孔中心周辺の酸素が消失する。

用語解説

注1) プルシアンブルー類似体

金属イオンとシアノ化物イオン (CN^-) が規則的に結合してできた三次元ジャングルジム構造を持つ結晶性化合物の総称。プルシアンブルー自体は、金属イオンに鉄イオンを用いた深青色顔料として知られるが、プルシアンブルー類似体では金属イオンを鉄以外（銅、クロム、マンガンなど）に置き換えることで、多様な機能を持たせることが可能となる。一般的には高い化学的安定性と構造の柔軟性を持ち、電池材料、セシウムやアンモニアなどの吸着材、触媒材料などへの応用が期待されている。

注2) ギガパスカル

圧力の大きさを表す単位の一つ。1 パスカルは、 1m^2 あたり 1N（ニュートン、約 0.102kgf）の力がかかっていることを示す。1 ギガパスカルは 10 億 (10^9) パスカル。

研究資金

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 創発的研究支援事業 (JPMJFR213Q) の一環として実施されました。

掲載論文

- 【題 名】 Pressure-induced water producing using a copper–chromium Prussian blue analog
(銅–クロム・プルシアンブルー類似体を用いた圧力誘起水生成)
- 【著者名】 Shintaro Akagi, Mayuko Tanaka, Junhao Wang, Hisao Kiuchi, Yoshihisa Harada, Yizhou Chen, Kazuhiro Marumoto, Kenta Imoto, Shin-ichi Ohkoshi, Hiroko Tokoro
- 【掲載誌】 *Journal of Materials Chemistry A*
- 【掲載日】 2025 年 5 月 19 日
- 【DOI】 10.1039/D4TA08305A

問い合わせ先

【研究に関すること】

所 裕子 (ところ ひろこ)

筑波大学 数理物質系 教授

URL: https://www.ims.tsukuba.ac.jp/~tokoro_lab/index.html

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

東京大学大学院理学系研究科・理学部 広報室

TEL: 03-5841-8856

E-mail: media.s@gs.mail.u-tokyo.ac.jp