



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和3年1月5日

岡山大学

窒化ホウ素の高いガス吸着能を立証！ ～炭素材料に替わる新たな吸着材としての利用開拓へ～

◆発表のポイント

- ・ 微細な孔を付与した高比表面積窒化ホウ素を作製し、高いガス吸着能があることを示しました。
- ・ 空気中で焼成しても700℃まで吸着材としての機能が保持されることを示しました。
- ・ 炭素材料では燃焼してしまうような過酷な条件でも使える耐熱性・耐酸化性に優れた吸着材や触媒担体としての利用が期待されます。

岡山大学大学院自然科学研究科（理）の大久保貴広准教授らの研究グループは、同大学異分野融合先端研究コアの仁科勇太研究教授、長崎大学大学院工学研究科の瓜田幸幾准教授らと共同で、セラミックス材料の一つである窒化ホウ素が耐熱性と耐酸化性に優れたガス吸着材として利用できることを発見しました。

研究成果は2021年1月4日、英国の王立化学会（Royal Society of Chemistry）発行の科学雑誌「*RSC Advances*」電子版に掲載されました。

窒化ホウ素は炭素材料と構造が類似しており、白色の物質であることから「ホワイトカーボン」と称されることもあります。一方で、炭素材料とは異なり窒化ホウ素は電気絶縁性である上に、化学的にみると窒素原子とホウ素原子間に電気陰性度^{*1}の違いにより電荷の偏りが生じることから、材料表面に吸着した分子との相互作用は2つの材料で異なると考えられます。大久保准教授らの共同研究グループは、ナノ空間^{*2}を有する窒化ホウ素を合成し、液体窒素温度（-196℃）下における窒素ガスの吸着量について圧力による変化を活性炭の場合と比較して検討しました。その結果、窒化ホウ素由来の吸着材の方が、活性炭よりも窒素分子を吸着する能力が高いことがわかりました。この結果は、窒化ホウ素の表面と窒素分子との相互作用が、活性炭表面と窒素分子間の相互作用よりも大きいことを示しています。また、実用上興味深いのは、空気中で焼成しても少なくとも700℃までは構造が維持されていることです。窒化ホウ素を用いることにより、耐熱性・耐酸化性にも優れた新たな吸着材の開発が可能であるとの道筋が見えてきました。

◆研究者からのひとこと

長らく研究で使ってきた炭素材料と類似点が多い物質でありながら、見向きもしてこなかった窒化ホウ素のことがふと気になり、新たに研究室に配属した学生と共に研究を始めました。学生と議論を交わし、共著者の協力により論文の採択に至りました。窒化ホウ素は空気中で簡単には燃えないので、広く利用できることを期待しています。



大久保准教授

PRESS RELEASE

■発表内容

＜現状＞

窒化ホウ素（BN）は固体潤滑剤やファインセラミックスなどとして広く利用されている材料です。化学的に見た場合、BNを構成するホウ素（原子番号：5）と窒素（原子番号：7）は炭素（原子番号：6）の両隣の関係にあるため、（ホウ素）+（窒素）の全電子数は（炭素）+（炭素）と等しい関係にあります。また、電子数の類似性のみならず、構造の類似性もみられ、ダイヤモンド構造に対しては立方晶系窒化ホウ素（c-BN）、黒鉛構造に対しては六方晶系窒化ホウ素（h-BN）という結晶相が存在します（図1）。このようなさまざまな類似性とh-BN粉末が白色であることから、BNは時として「ホワイトカーボン」と称されることもあります。

炭素材料の中には消臭剤としても用いられている活性炭のように有害な物質を吸着して取り除く機能を備えているものがあります。この機能を発揮させるためには、物質を吸着するためのナノ空間が必要です。近年、BNについてもナノ空間を有する材料の開発が進み、吸着材としての有効性も叫ばれるようになってきました。しかし、個別の現象にのみターゲットを絞った報告が多い一方で、BNが炭素材料と比べてどの程度優れた材料であるのか、BNを利用するメリットは何かなど、基本的な理解が進んでいない状況が続いていました。

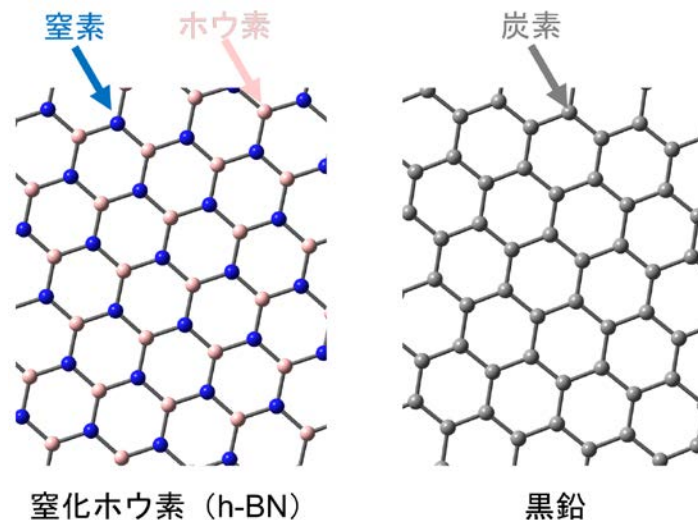


図1. 六方晶系窒化ホウ素（左）と黒鉛（右）の構造。実際にはここに示す2次元の層状構造が積層した構造となっています。

＜研究成果の内容＞

岡山大学大学院自然科学研究科（理）の大久保貴広准教授、木村純大学院生、黒田泰重特任教授の研究グループ、同大異分融合先端研究コアの仁科勇太研究教授、および長崎大学大学院工学研究科の瓜田幸幾准教授の共同研究グループは、ナノ空間を有するh-BN（以後、ポラスBN）材料を創製し（図2）、市販の活性炭との比較でポラスBNが窒素ガスに対してどの程度優れた吸着能を示すのかを、貴ガスであるアルゴンの吸着量を基準とした新たな解析手法を用いて検討しました。その結果、ポラスBNには同じ吸着ポテンシャル^{*3}下にある活性炭よりも最大で2倍程度多くの窒素ガスを吸着できることがわかりました（図3）。この結果は窒素分子が有する四極子モーメント

PRESS RELEASE

*4とBN表面の電荷分布の偏りに起因するわずかな電氣的相互作用がはたらくため、窒素分子とBN表面間との相互作用が活性炭の表面との相互作用よりも大きくなった結果であると考えられます。

更に、実用の観点から興味深いのは、ポラス BN の優れた耐熱性と耐酸化性です。例えば、窒素気流下、1400°Cで焼成したポラス BN は、空气中で 700°Cにて焼成してもナノ空間の構造とBNの構造共に維持されていることを実験的に確かめました。ポラス BN に多く存在するメソ孔*5は触媒反応などの観点で利用価値が高いのですが、ポラス BN のように空气中での高温処理でメソ孔の構造を維持できる材料は、金属酸化物以外では非常に稀です。

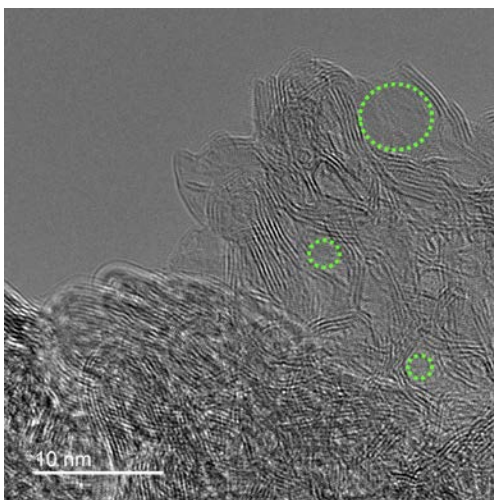


図 2. ポラス BN の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像。縞模様のように見えるのは h-BN の積層構造で、積層構造の隙間にナノ空間が形成されています。ナノ空間と考えられる箇所の幾つかを緑点線で示しました。

(撮影：長崎大学 瓜田幸幾准教授)

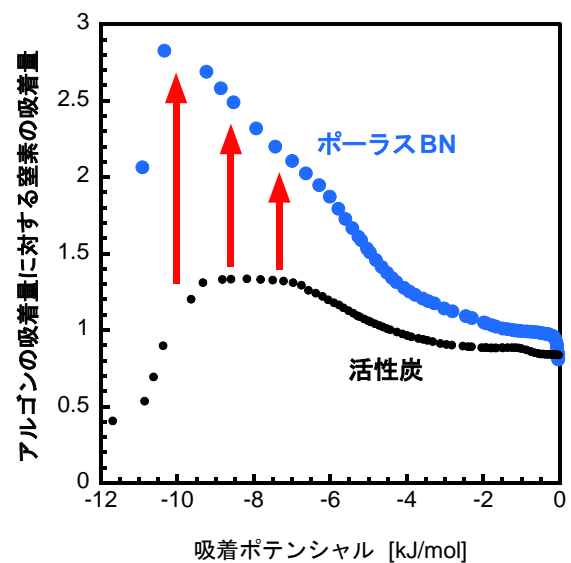


図 3. ポラス BN および活性炭へのアルゴンの吸着量に対する窒素の吸着量を示した図 (ただし、横軸は-1 を掛けて図の左から右に行くに従って気体の圧力が大きくなるように示しました)。同じ吸着ポテンシャルで比較した場合、ポラス BN の方が大きな値を示し、窒素分子との相互作用が大きいことを示しています。

<社会的な意義>

本研究の成果は、これまで耐久性の観点から利用が制限されてきた過酷な条件でも、ポラス BN を使った吸着分離や触媒反応を設計できる可能性を示しています。未だ解決すべき課題は多いですが、活性炭の弱点を補完できる材料として発展させるべく、引き続き研究開発を進めます。

■論文情報

論文名: Adsorption enhancement of nitrogen gas by atomically heterogeneous nanospace of boron nitride
邦題名「窒化ホウ素の原子レベルで不均一なナノ空間による窒素の吸着促進」



PRESS RELEASE

掲載紙：RSC Advances

著者：Jun Kimura, Takahiro Ohkubo, Yuta Nishina, Koki Urita, Yasushige Kuroda

DOI：10.1039/d0ra08437a

発表論文はこちらからご確認できます。

URL： <https://doi.org/10.1039/d0ra08437a>

■研究資金

本研究は、独立行政法人日本学術振興会（JSPS）「科学研究費助成事業」（基盤(C)・19K05650）、公益財団法人旭硝子財団、一般財団法人材料科学技術振興財団、および公益財団法人岡山工学振興会の支援を受けて実施しました。

■補足・用語説明

- 1) 電気陰性度：化合物中の原子が自らの周りに電子を引き付ける力の度合いを数値で表したものです。ホウ素と窒素を比べた場合、窒素の電気陰性度の方が大きいため、窒素側へ電子が偏る傾向が強くなります。
- 2) ナノ空間：「ナノ」は単位に付随する接頭語で十億分の一を意味します。ナノ空間とは 1～数ナノメートル程度の幅を有する空間を指します。
- 3) 吸着ポテンシャル：ある吸着材に対する異なる温度での吸着量を一つの軸上で考えることができるとした考え方で、Polanyi により 1914 年に提唱されました。本研究では、窒素（沸点：-196°C）とアルゴン（沸点：-186°C）それぞれの気体の沸点温度で吸着量を測定する必要性がありました。異なる温度で測定した実験データを同じグラフ上で議論するために、気体の圧力が P の場合の吸着ポテンシャルが $RT\ln(P_0/P)$ と記述できることを利用しました。ここで、 R は気体定数、 T は測定温度、 P_0 はそれぞれの気体の飽和蒸気圧です。異なる温度で測定した実験データを同じグラフ上で吸着量の大小を比較することができます。
- 4) 四極子モーメント：1つの分子内で大きさが等しく向きが互いに反対の双極子2個が接近していると、分子全体としては電荷の偏りが無いように見えますが、局所的な偏りに起因する弱い相互作用が生じます。窒素分子には弱いながらも四極子モーメントが存在します。
- 5) メソ孔：国際純正・応用化学連合（IUPAC）は細孔をそのサイズにより分類しており、メソ孔は細孔サイズが 2～50 nm の範囲に入るものを指します。



<お問い合わせ>

岡山大学大学院自然科学研究科（理）

准教授 大久保 貴広

（電話番号）086-251-7843

（FAX）086-251-7843



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。