

# 報道発表 Press Release



2025年6月12日

信州大学

共同研究先

長崎大学 千葉大学

アリカンテ大学（スペイン）

Morgan Advanced Materials(米国)

**常圧で多量の天然ガスを貯蔵できるグラフェンバルブカーボン**

**: 天然ガス用の軽いカートリッジ製造へ道を拓く**

信州大学工学部長野キャンパスにて

アクア・リジェネレーション機構



王書文 博士研究員  
金子克美 特別特任教授  
田中秀樹 教授



瓜田幸幾 准教授  
能登原展穂 助教

工学部



大塚隼人 特任准教授  
古瀬あゆみ 特任助教  
林卓哉 教授



森口 勇 教授



J. Silvestre-Albero 教授



F. Vallejos-Burgos 博士



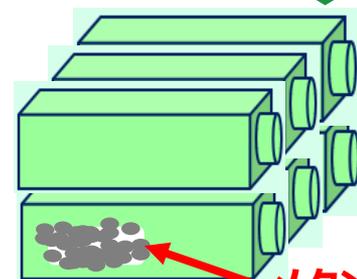
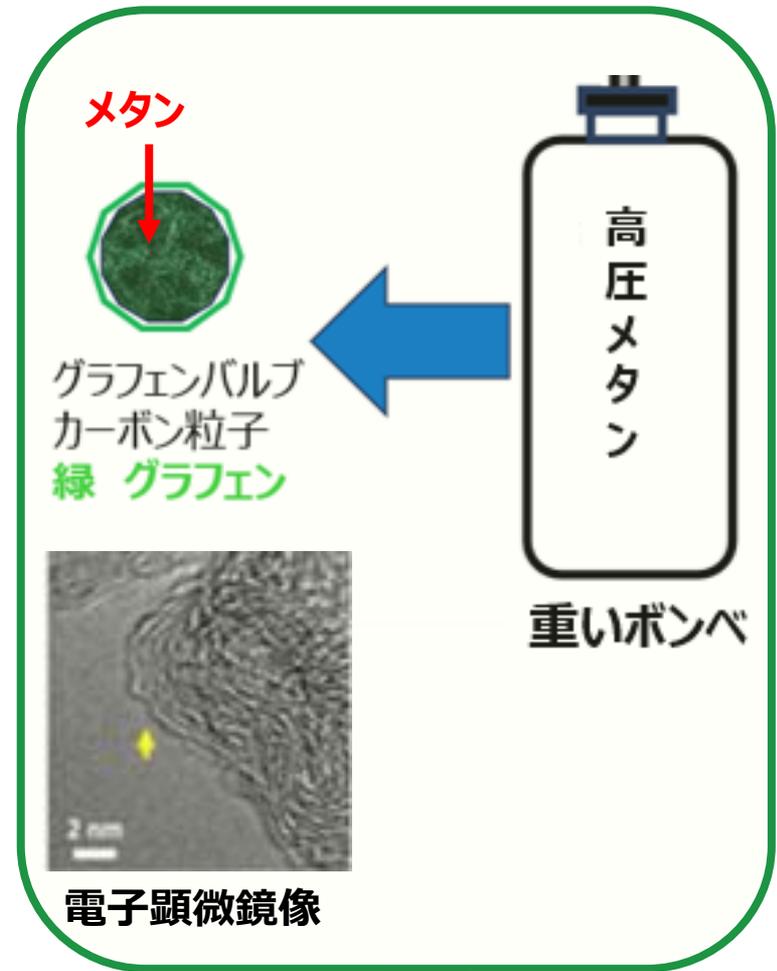
千葉大学  
CHIBA UNIVERSITY



加納博文 教授



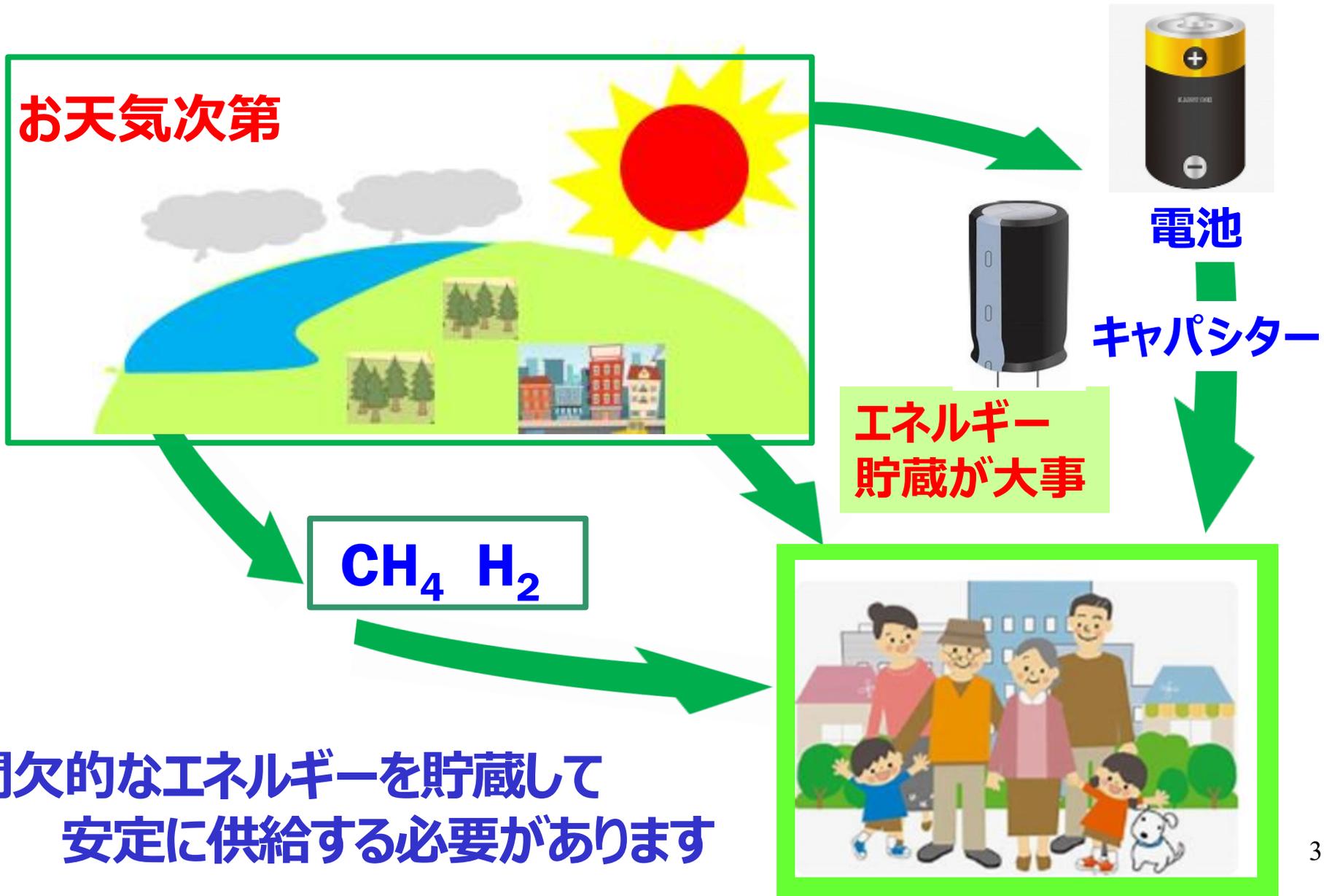
大場友則 准教授



省スペース・軽量の貯蔵

メタン貯蔵炭素

# CO<sub>2</sub>削減：再生可能エネルギーの促進



# 代表的なエネルギー貯蔵法

	物理的 化学的	エネルギー 密度	出力密度	長寿命	安全性	軽量性
電池	化学	◎	X	△	X	X
スーパー キャパシタ	物理	X	◎	◎	○	△
燃料	化学	◎	△	◎	X	△

## クリーン燃料の必要性:貯蔵と輸送が大事

### 省エネルギー性、安全性、簡便性に課題

水素 高圧圧縮(700 気圧) 低温で液化 (-253 °C)  
メタン 高圧圧縮 (< 250 気圧) 低温で液化 (-162 °C)

# メタン：ナノ細孔体への吸着貯蔵法がよいか？

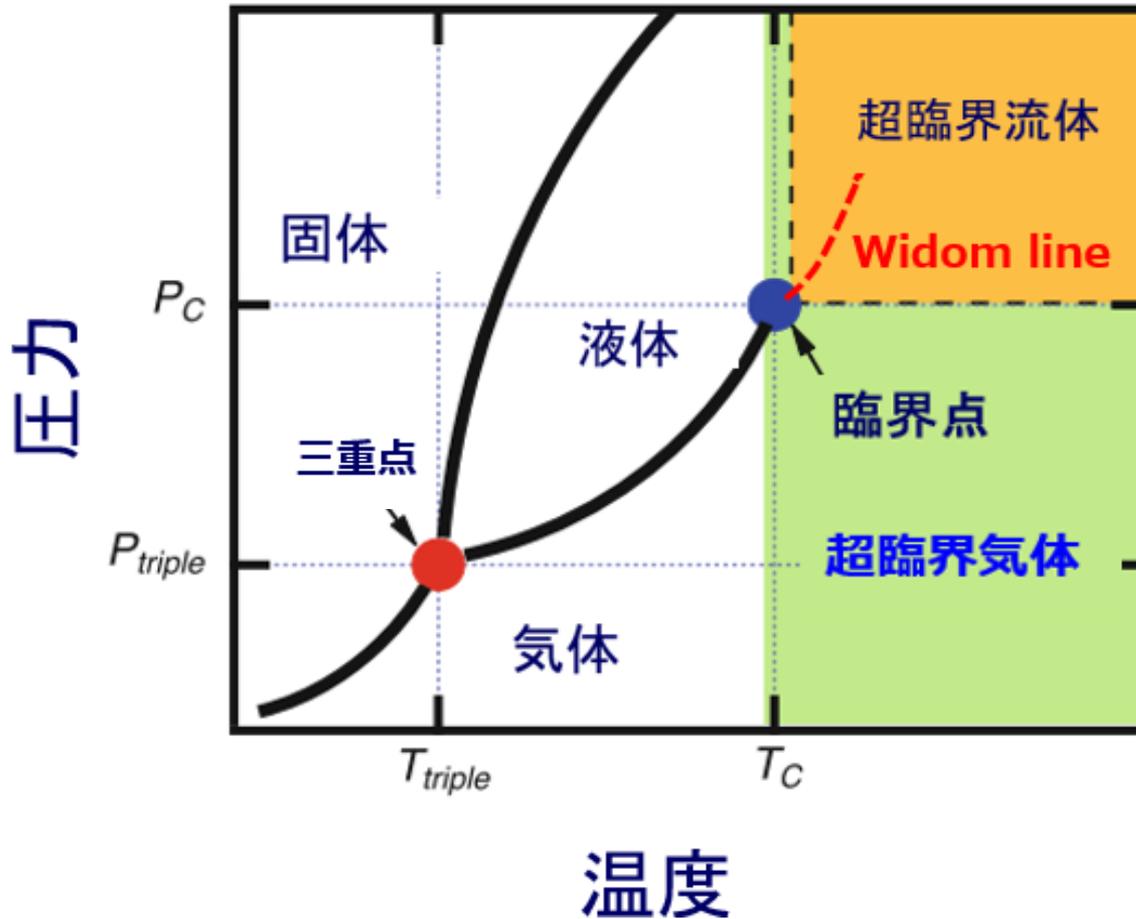
## ANG法 Adsorption Natural Gas Method

吸着天然ガス法 困難な状況

	標準状態での体積%	エネルギー密度 (MJ/L)
LNG 液化天然ガス (-162°C)	600	22.2
ガソリン		34.2
ANG 目標 250気圧	266	9.2

# メタンは超臨界気体（永久気体）

## 物質の状態図



臨界温度  $T_c$

$H_2$   $-240\text{ }^\circ\text{C}$

$CH_4$   $-77\text{ }^\circ\text{C}$

超臨界気体は**永久気体**とも呼ばれ、どんな高圧をかけても液体にならない

吸着は液体化に似た現象

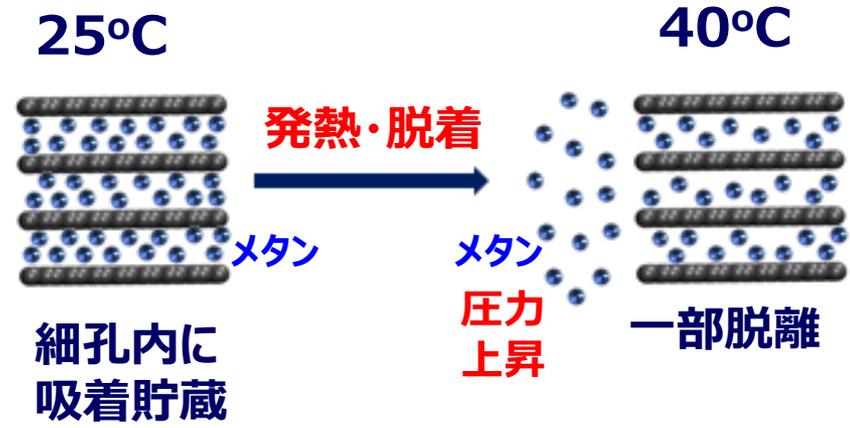
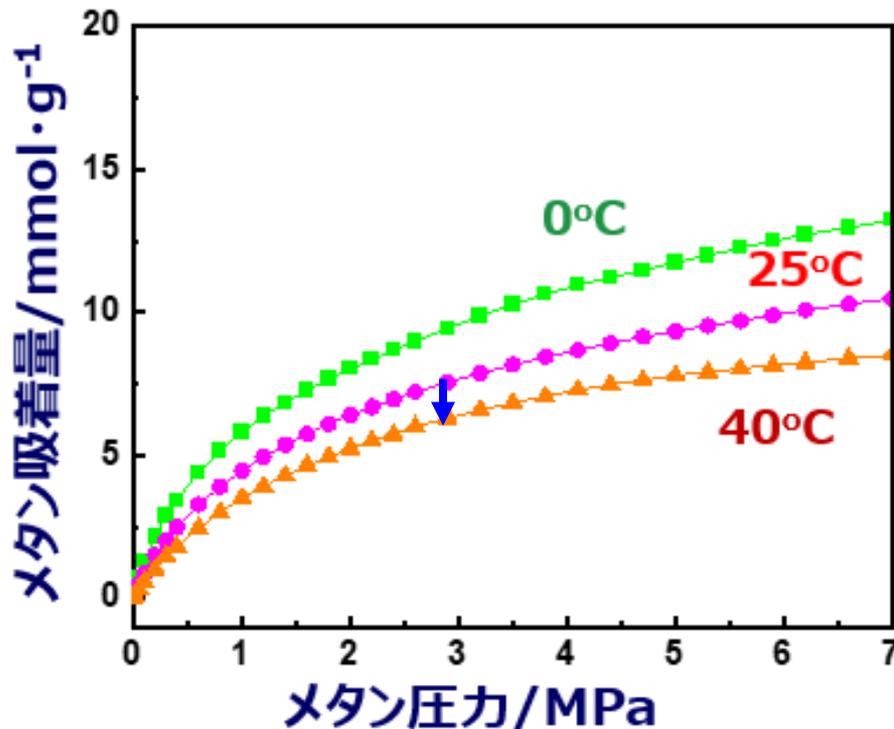
室温で超臨界のメタンの吸着による濃縮は困難

# 吸着天然ガス(ANG)法の更なる課題

吸着するとメタンが安定化して**発熱**する

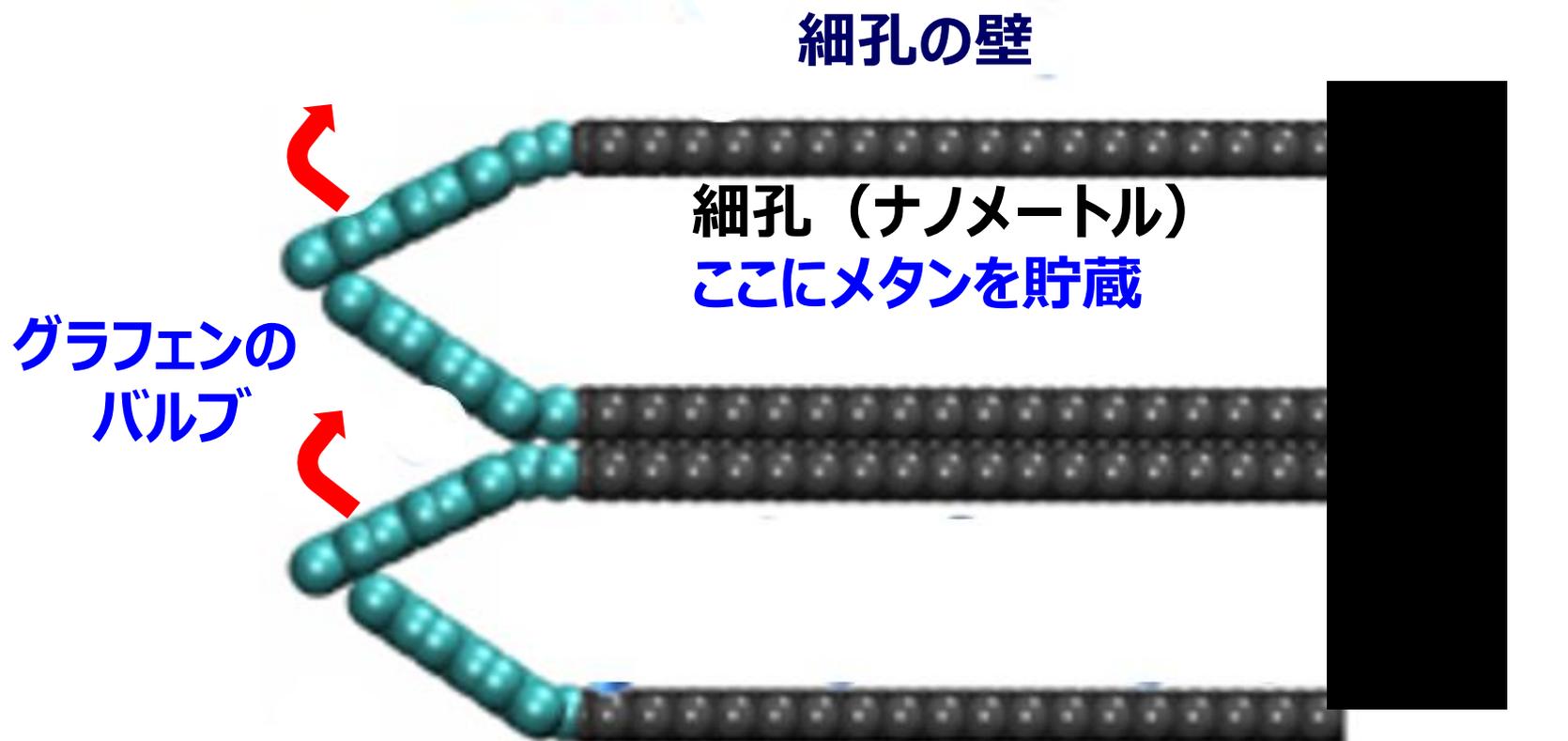
→ 温度上昇 → メタンのガス化 → 圧力上昇

## 活性炭のメタン吸着等温線の温度依存性



**ANG法は**  
吸着材の能力不十分、  
発熱による脱離・圧力上昇  
の課題がある

# 新貯蔵法：ナノグラフェン バルブ導入による吸着・シール法の開拓



**グラフェンバルブ 室温で閉じる 200°C (排熱の利用) で開く**

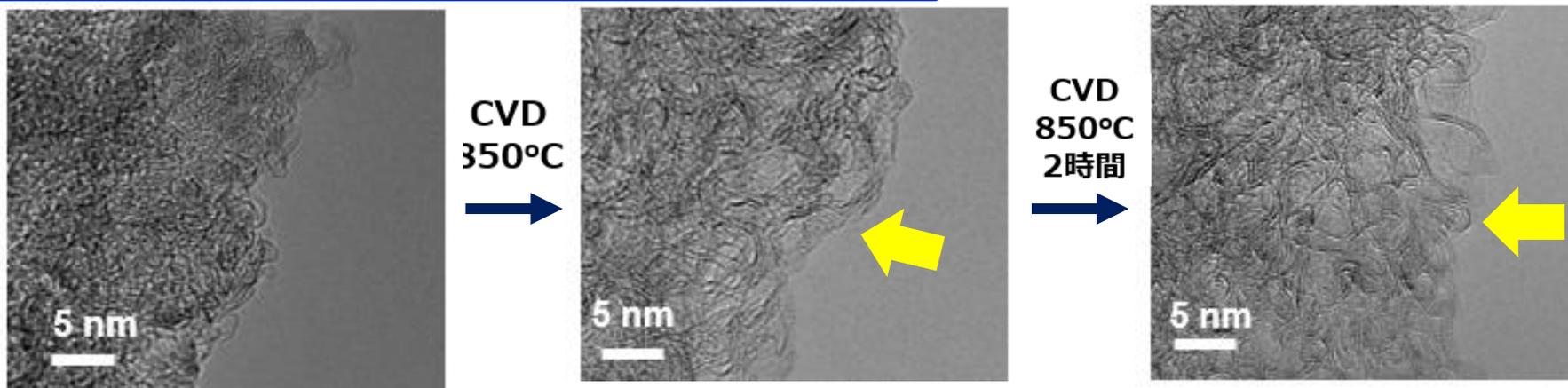
メタンを用いる化学気相成長 (CVD) 法で  
グラフェンナノバルブを作成

# カーボンの細孔入り口での グラフェンバルブの成長

## 成長モデル

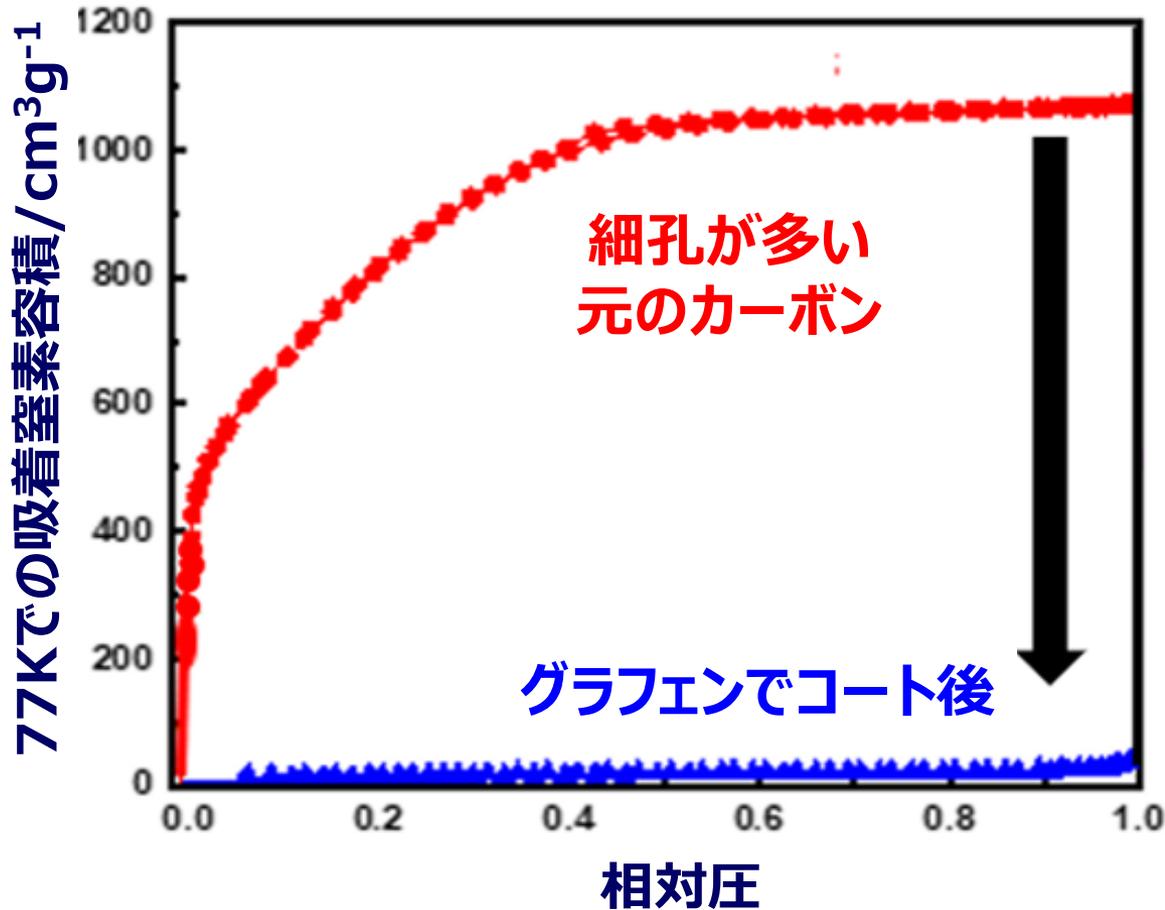


## 電子顕微鏡から見たグラフェン成長



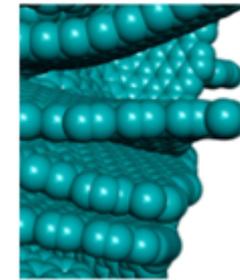
# グラフェン成長でカーボン細孔がシールされたか？

## N<sub>2</sub> 吸着等温線（細孔の容積の測定法）

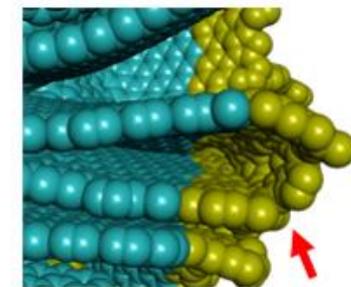


細孔が多い  
元のカーボン

グラフェンでコート後



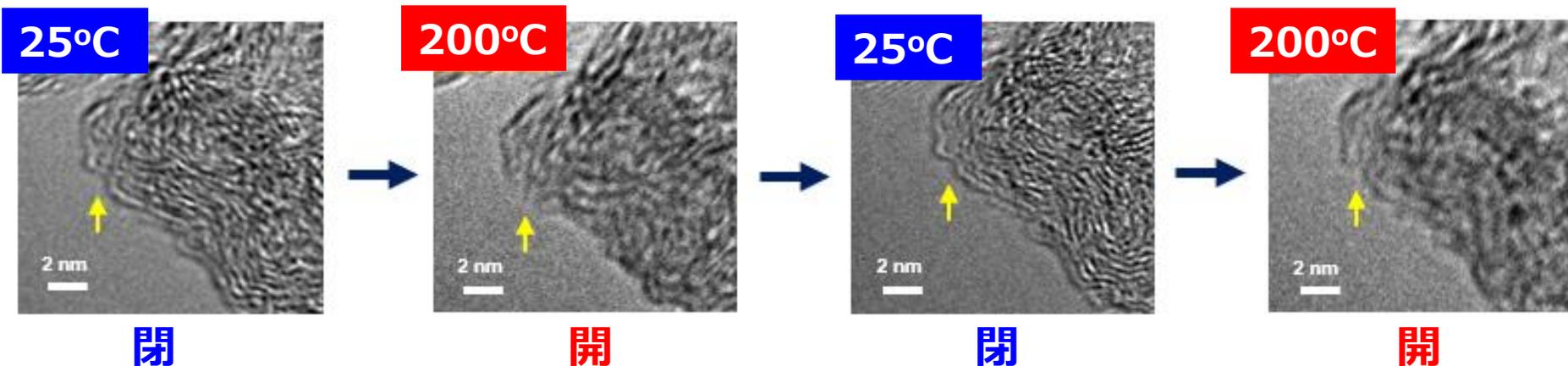
CVDで細孔を  
グラフェンでシール



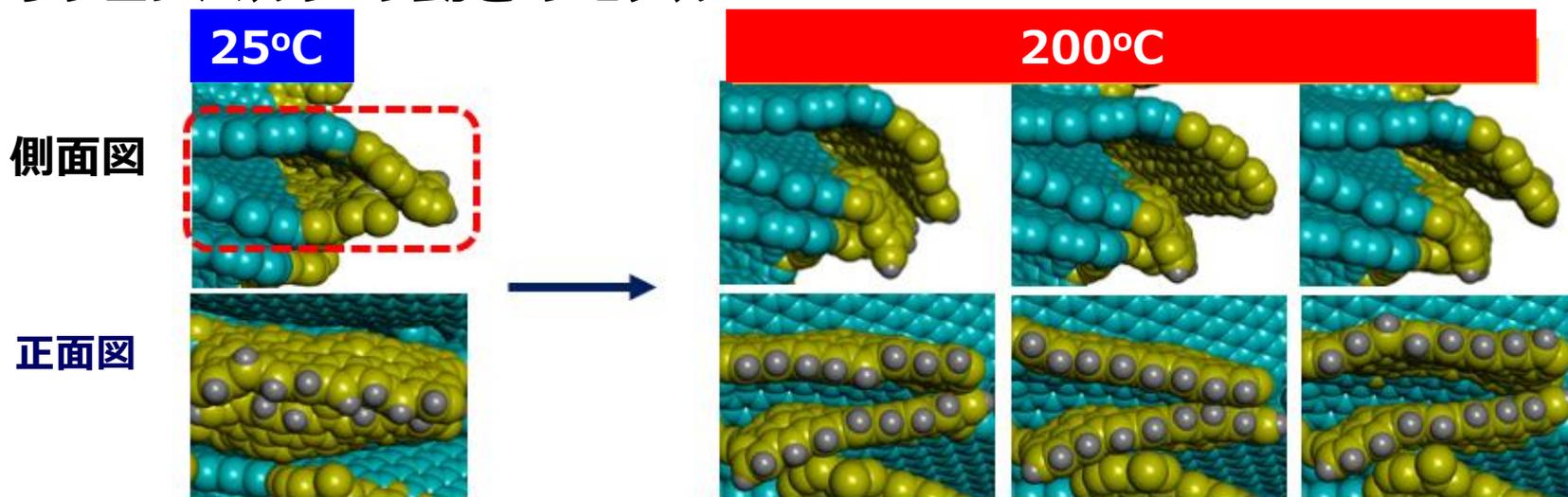
グラフェン  
バルブ

# 温度変化によるグラフェンバルブの開閉制御

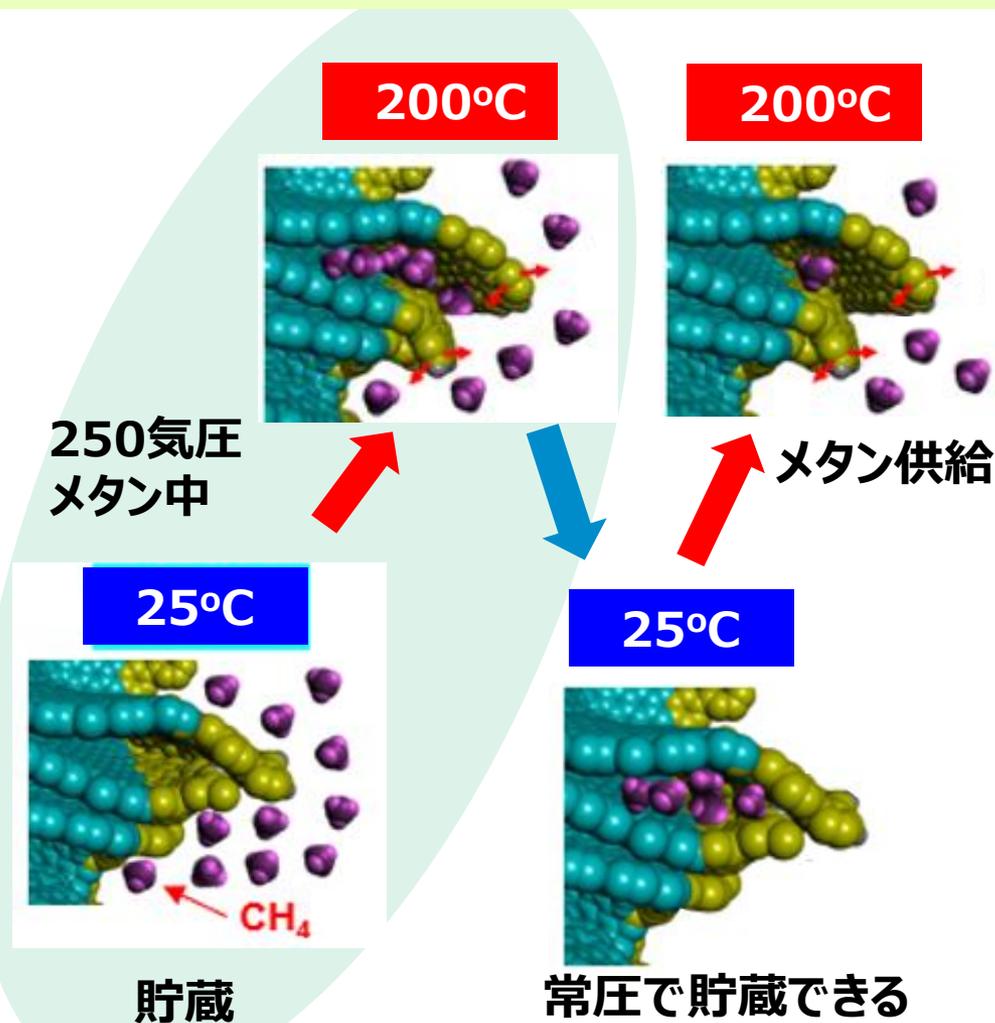
## 温度変化に伴う透過電子顕微鏡像



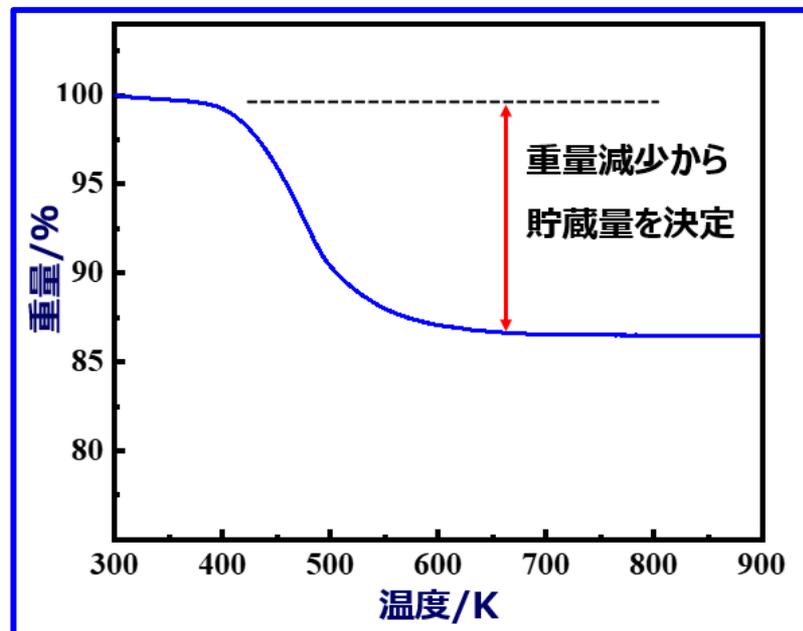
## グラフェンバルブの動きのモデル



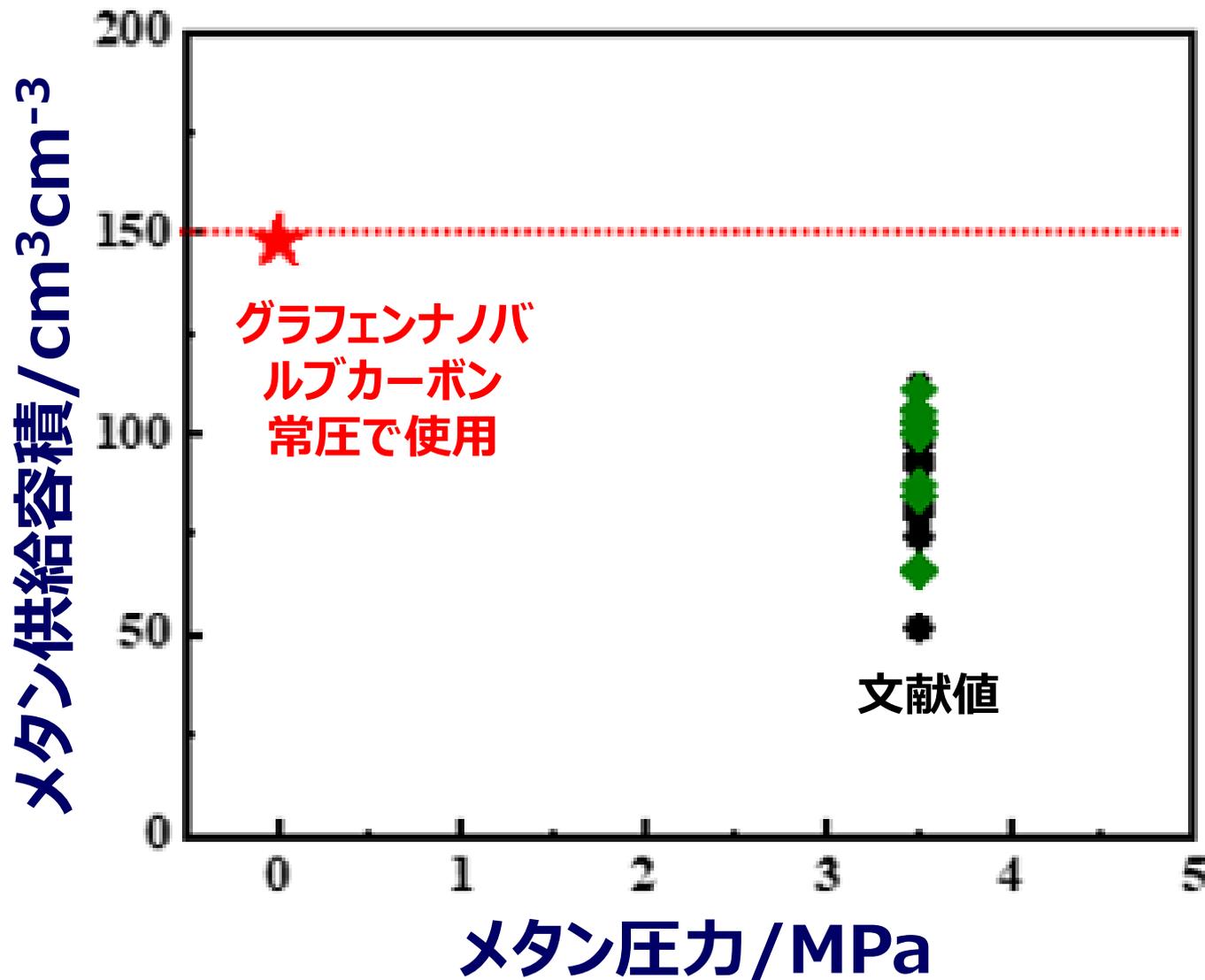
高圧メタン中でグラフェンナノバルブを開き、高密度メタンを細孔内に導入。室温に戻し常圧で高密度メタンを安定貯蔵（2週間まで検査済み）。加熱すればメタンを放出



### 重量測定でメタン貯蔵量決定



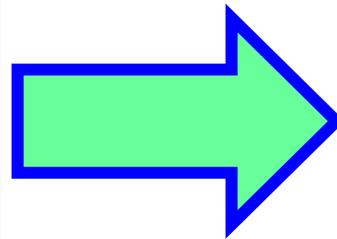
# 35気圧でのメタン供給量のANG法との比較



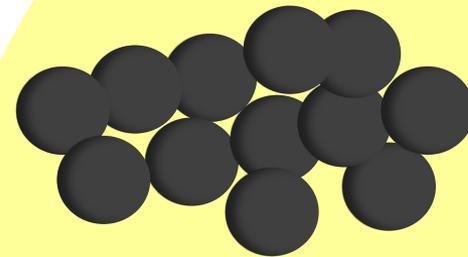
ゼオライト、  
カーボン、  
MOFなどの  
文献値より  
有利

Gバルブ  
カーボン法は  
更に貯蔵量  
を増やせる  
可能性あり

# ナノグラフェンバルブによる 吸着・シール法のメリット



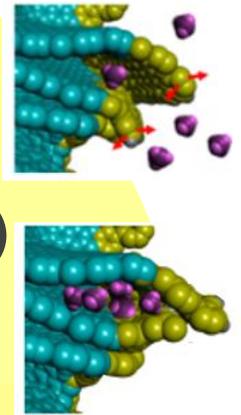
排熱の利用



カーボン小粒子

軽いコンテナ

コンテナの形状  
フレキシブル



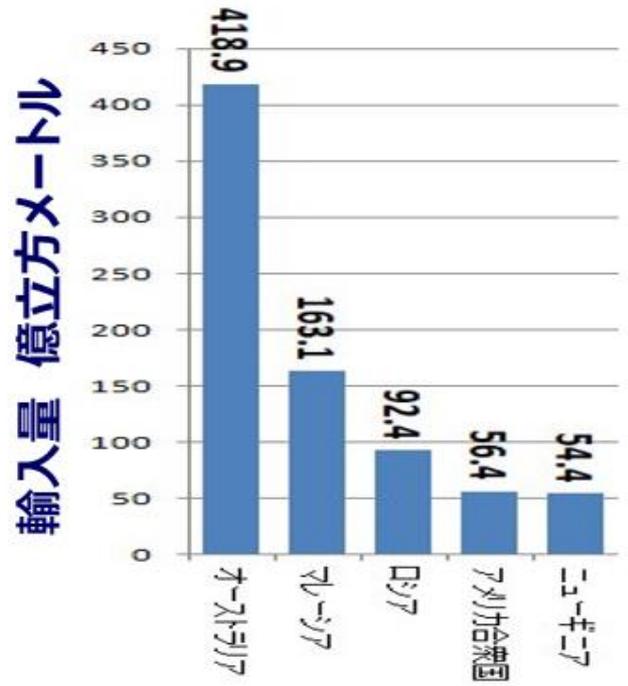
# 今後の展開

1. **メタン貯蔵量の増大化**
2. **耐久性試験の徹底**
3. **大量製造法の開発**
4. **小型カートリッジの試作**
5. **市場の調査と実装化**

**企業さんとの共同開発が必須**

# 日本のLNG輸入は世界でトップ(2022年)

日本の天然ガス輸入量はすべてLNGで総量は世界第3位…天然ガス輸入量動向(2023年更新版)(不破雷蔵) - エキスパート - Yahoo!ニュース



Pngtree  
<https://ja.pngtree.com> > so > lng

LNG輸送から常温・常圧輸送の可能性は？

都市ガス未整備地域 (約50%,日本)

簡便な地域の拠点づくりはできないか？

災害対応のエネルギー拠点？

詳細な説明  
は原論文を  
ご覧ください

nature energy

Article

<https://doi.org/10.1038/s41560-025-01783-z>

# Ambient pressure storage of high-density methane in nanoporous carbon coated with graphene

Received: 17 November 2022

Accepted: 25 April 2025

Published online: 23 May 2025

 Check for updates

Shuwen Wang<sup>1</sup>, Fernando Vallejos-Burgos<sup>2</sup>, Ayumi Furuse<sup>1</sup>, Hayato Otsuka<sup>1</sup>, Miu Nagae<sup>1</sup>, Yuma Kawamata<sup>1</sup>, Tomonori Ohba<sup>3</sup>, Hirofumi Kanoh<sup>3</sup>, Koki Urita<sup>4</sup>, Hiroo Notohara<sup>4</sup>, Isamu Moriguchi<sup>4</sup>, Hideki Tanaka<sup>5</sup>, Juan P. Marco-Lozar<sup>6</sup>, Joaquin Silvestre-Albero<sup>7</sup>, Takuya Hayashi<sup>8</sup> & Katsumi Kaneko<sup>1,5</sup>✉

Storage and transportation of methane (CH<sub>4</sub>) remains challenging as it cannot be liquefied at ambient temperature and instead must be stored as compressed gas at high pressures (approximately 25 MPa). Alternatively, it can be stored within nanoporous materials at moderate pressures (for example, 3.5 MPa) but this ‘adsorbed natural gas’ approach can suffer from substantial desorption with only minor temperature increases. Both methods therefore necessitate additional safety measures. Here we report graphene-coated porous carbon materials that can be charged with CH<sub>4</sub> at high pressure and retain it at ambient pressure and temperature (below 318 K), thereby enhancing storage safety. Our data suggest that graphene serves as a thermally controllable lock that obstructs or activates pores to trap or release CH<sub>4</sub>, enabling a pressure-equivalent loading of 19.9 MPa at 298 K, and release upon heating to 473 K. The resulting reversible CH<sub>4</sub> volumetric capacity reaches 142 v/v, exceeding that of various adsorbed natural gas materials at 3.5 MPa and 298 K when considering container space utilization.

# 謝辞

- **科学技術振興機構(JST)**  
**埋め込み型・装着型デバイス共創コンソシアム**  
**OPERA(JPMJOP1722)**
- **株式会社 タカギ 研究ファンド**
- **株式会社 アドール 活性炭素繊維の提供**

# 問い合わせについて

## 研究に関するお問い合わせ先

信州大学 アクア・リジェネレーション機構

特別特任教授 金子克美 [kkaneko@shinshu-u.ac.jp](mailto:kkaneko@shinshu-u.ac.jp)

Tel:026-269-5743 Fax:026-269-5737

金子克美: **本日16時40分まで** 電話問い合わせ可能

大学: **026-269-5743**

それ以外は **e-mail**にて問い合わせお願いします。

## 報道に関する問い合わせ先

国立大学法人信州大学 総務部総務課広報室

Mail:[shinhp@shinshu-u.ac.jp](mailto:shinhp@shinshu-u.ac.jp)

Tel: 0263-37-3056 Fax:0263-37-2188