

カーボンナノチューブ高機能ナノシステムデザイン -新しいエネルギー材料創成-

中嶋 直敏

九州大学大学院工学研究院、WPI-I2CNER

燃料電池は水素やメタン、アルコール等の水素源と空気などの酸素源を燃料とし、電気を取り出す発電機である。「燃料電池は反応の結果生じるのは水のみ」というクリーンさとエネルギー密度の高さから、次世代電源の一つとして期待されている。現在はカーボンブラック (CB) が導電性触媒担持体として用いられているが、私たちは、CBの代わりに、CBより様々な利点を持つカーボンナノチューブを用いている。極く最近、高分子酸でコートした加湿無しで駆動する新しいタイプの高温度PEFCを開発し、これが超高耐久性を示すことを見出した。加湿なしで100°C以上でも発電できる中/高温型 PEFC において、液体酸の漏出による劣化を抑制することは重要である。私たちは、液体酸 (リン酸) に替えて高分子固体状の酸を用いた。すなわち、ベースとなる高分子に固体状の酸をブレンドした膜を高分子膜として電極間に挟んだ。この固体状の酸は高分子主鎖に酸基が側鎖として高密度に結合した構造をしており、隣り合う酸基でバケツリレーのように水素イオンを運搬することができる。作製した新規電極触媒 (図1) を、高分子膜と組み合わせたMEAを作製して燃料電池特性を調べたところ、40万回の繰り返しに耐える超高耐久性PEFCであることがわかった¹⁻²⁾。

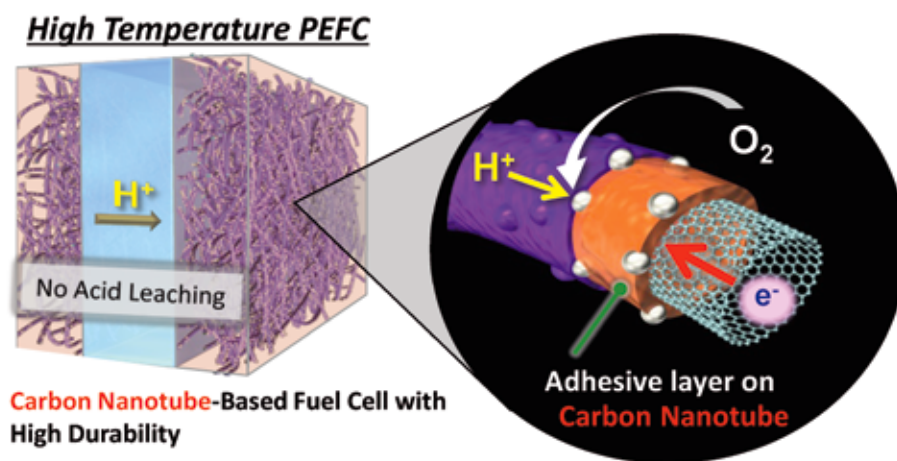


図1. 新規開発した超高耐久性を示す燃料電池触媒の構造

文献

1. T. Fujigaya, N. Nakashima, "Fuel Cell Electrocatalyst Using Polybenzimidazole-Modified Carbon Nanotubes As Support Materials", *Adv. Mater.*, **2013**, 25, 1666-1681.
2. M. R. Berber, T. Fujigaya, K. Sasak, N. Nakashima, "Remarkably Durable High Temperature Polymer Electrolyte Fuel Cell Based on Poly(vinylphosphonic acid)-doped Polybenzimidazole" *Scientific Reports*, **2013**, 3, Art. No. 1764.



**カーボンナノチューブ高機能ナノシステムデザイン
 —新しいエネルギー材料創製—**

**Naotoshi Nakashima
 (中嶋 直敏)**

Dept. Applied Chemistry (応用化学),
 Kyushu University (九州大学) &
 WPI-ICNER, Kyushu University &
 JST-CREST



カーボンナノチューブの特性

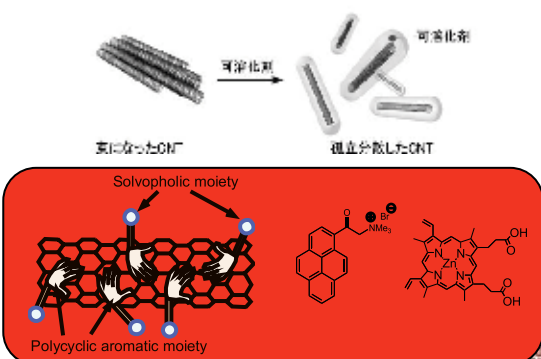
	SWNT	MWNT	References
Tensile strength [GPa]	10-100	11-63	1.3 (Steel)
Young modulus [TPa]	0.6-3.4	0.3-1.3	0.2 (Steel)
Current density [A/cm ²]	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸ (Copper)
Thermal conductivity [W/mK]	3500	3000-	420 (Silver)

Density [cm³/g] = 1.0 - 1.3

Many proposed applications




1. カーボンナノチューブ可溶化のコンセプトの提示 (2002, 2003)



束になったCNT → 可溶化剤 → 粗立分散したCNT

Solvophobic moiety
 Polycyclic aromatic moiety

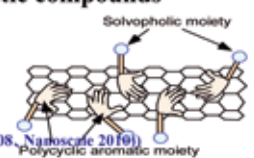



可溶化の戦略

Our strategy to solubilize SWNTs

Using polycyclic aromatic compounds

- Pyrene compounds (Chem. Lett. 2002, Chem. Eur. J. 2006)
- Porphyrin compounds (Chem. Phys. Lett. 2003)
- Polyimide (Chem. Phys. Lett., 2006)
- ds-DNA or RNA (Chem. Lett. 2003, Chem. Phys. Lett. 2006, Chem. Eur. J. 2008, Nanoscale 2010)
- Polyphenol (Chem Lett. 2007)
- PBI (Adv. Func. Mater. 2008, J. Mat. Chem. 2011, Adv. Func. Mater. 2011)

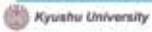




CNTs: Remarkable Properties

Extended π -Conjugation

Strength	Conductivity	Small Bandgap
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reinforced material ▶ Nano-Fiber ▶ AFM probe 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Conductive Film ▶ FET ▶ Sensor ▶ Electron emitter 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Optical device ▶ Fluorophore




Our current work: Fundamental & Applications

Soluble CNTs

Basic: Electronic States, Thermodynamics, Nano structure
 Bottom up: Chirality, Post ITO, Fuel Cell, DOS
 Top down: Actuator, Cell culture, CNT patterning


References: Angew. Chem. 2009; JACS 2010, 2012; Angew. Chem. 2009; Chem Lett. 2011; Chem. Asian J. 2011; Chem. Eur. J. 2011; JACS 2011; JACS 2012; Adv. Func. Mater. 2009; JACS 2010; Adv. Func. Mater. 2007; Small. 2009; Carbon 2009; J. Mater. Chem. 2010; Adv. Func. Mat. 2011; ChemComm, 2011; Sci. Rep., 2013; Adv. Mater., 2013; Angew. Chem. 2009; JACS 2010, 2012; Sci. Rep., 2012; Chem. Phys. Chem., 2012; Nanoscale 2011; ACS Nano, 2011; Adv. Mater. v2, 2008; Adv. Func. Mater. 2009; Soft Matter 2011






研究成果

- ・従来の燃料電池と比較し、耐久性において**100倍**の向上を達成
- ・加湿なし条件で発電温度を**100度以上**へ拡張することに成功
- ・大幅な低コスト化への寄与が期待

Kyushu University 





For Future Low-Carbon Society


What are the next generation fuel cells?



For Future Low-Carbon Society


Fuel Cell Electrocatalyst
(*Polymer Electrolyte FC, PEFC*) with High Performance

-  Non (low) Pt
-  Non (low) humid
-  Middle temperature (100–200 °C)
-  Durability



Type of Fuel Cell

1. *PEFC (polymer electrolyte: acid-type)*
2. *AFC (polymer electrolyte: alkaline type)*
3. SOFC (solid oxide)
4. PAFC (phosphoric acid)
5. MCFC (molten carbonate)



中温型燃料電池の構造と問題点

リン酸（液体）の染み出し、漏れ出しが電池特性を低下

Kyushu University 