

Energy Outlook

International Institute for Carbon-Neutral Energy Research

JANUARY
2015

カーボンニュートラル・エネルギー社会に向けた
日本と米国における学術・研究機関の連携

Japan-U.S. Collaboration on Energy

I²CNER 東京シンポジウム 特集

2014年12月12日開催

Songquan Deng / Shutterstock.com

Sakarin Sawasdinaka / Shutterstock.com

12CNER 東京シンポジウム特集

Japan-U.S. Collaboration on Energy

2014年12月12日、世界共通のエネルギー問題解決に向けてどのような研究が行われているか、異なる文化をもつ日米の融合研究による新しい学術インフラ整備への取組、エネルギー政策や方向付けに実質的な影響を与えるためにどのように研究成果を国際的に認知させるかなどをテーマに「12CNER 東京シンポジウム」が行われました。官公庁及びエネルギー関連企業からの参加者に加え、米国からはケネディ駐日米国大使が参加されました。



ケネディ大使を囲んで

開会あいさつ



久保 千春
九州大学総長

12CNERには、日米におけるエネルギー研究の架け橋としての役割を果たしてほしいとの希望と、九州大学全体への建設的で変革的な影響を与えてほしいとの期待が述べられました。



土屋 定之
文部科学省文部科学審議官

世界共通の課題であるエネルギー問題について主導的な立場をとる日米が合同でシンポジウムを行う意義について述べられ、また12CNERが今後国際的に認知されることを期待する旨が述べられました。



黒木 登志夫
WPIプログラムディレクター

WPIプログラムの概要説明がなされ、大規模かつ長期的な資金提供を含む、WPI拠点への支援計画について紹介されました。また、12CNERの今後についての黒木ディレクターの明るい見通しが述べられました。



キャロライン・ブービエ・ケネディ
駐日米国大使

日米政府が進める学術交流のなかでも、科学技術分野の重要性が強調されました。なかで12CNERのソフロニス所長はクリーンエネルギー分野では重要な位置にあり、12CNERのような日米協力下の努力は、今後燃料電池自動車の市場への普及といった水素経済に寄与するものと期待を述べられました。

世界のエネルギー問題解決のための科学的研究の国際化



ペトロス・ソフロニス
九州大学12CNER所長

12CNERの9つの研究部門それぞれの具体的な取組や、学際的、国際的な研究成果が紹介されました。また、世界のトップ研究機関との幅広いネットワークや、研究者の45%が日本国外からきていることなど、研究基盤における12CNERのイノベーションについても述べられました。また、九州大学におけるオープンで世界的に目に見える研究機関としての基盤を確立するため、若手研究者、女性研究者などを含む多様な研究者を核とすることの重要性が強調されました。

2050年までの劇的なCO₂排出削減のための国際的技術開発のアプローチ



板岡 健之
九州大学12CNER
エネルギーアナリシス研究部門長代理

エネルギーアナリシス研究部門の国際連携による研究アプローチが紹介されました。そのようなアプローチによる成果として、2050年までにCO₂排出量を1990年から70・80%削減するカーボンニュートラル・エネルギー社会創造のため

に必要な技術発展のシナリオのひとつが提示され、交通、商業、家庭など各セクターでの炭素強度の低減とエネルギー転換や利用の効率化の二大分野における技術開発の必要性が説明されました。

数値シミュレーションと実験、国際共同研究によって明らかとなった 間隙内CO₂挙動の解明：安全で信頼 できるCO₂地下貯留に向けた試み



辻 健
九州大学 iCNER
CO₂貯留研究部門長

CO₂削減の有効な手段と期待される、中にCO₂を圧入し貯留する技術(CO₂地下貯留)について日米間でどのように共同研究が行われているかを中心に発表が行われました。地中でのCO₂の挙動は地層の特性に強く依存し、安全で効率的なCO₂貯留について今後の解明が待たれる状況です。一方、日本列島周辺だけでも1000億トン以上のCO₂を貯留できる地層が存在し、CO₂削減の点で大きなポテンシャルをもつ技術であることが紹介されました。また、CO₂貯留研究部門の目的のひとつであるmm単位からkm単位のスケールでのCO₂の挙動の解明についても取り組んでいることが述べられました。異なる地層によるCO₂の挙動にどのような違いがあるか、最新のコンピュータモデリングの結果を紹介しながら、わかりやすく解説されました。



ケニス・クリステンセン
ノールダム大学教授

クリステンセン教授からは、日本側で行われた数値シミュレーションに加え、米国側で実施された実験をベースとした研究実績について発表が行われました。CO₂貯留を安全に、長期間にわたって行う際の課題である貯留層の査定とCO₂圧入後の挙動予測について、実験データに基づいた現状と今後の課題が発表されました。km規模の貯留層にCO₂を注入した場合のシミュレーションのためには、mm規模での正確な計算が必要であることがクリステンセン教授の実験結果によって示され、貯留層細孔内でのCO₂挙動を左右する要因と力学を定量化する測定方法を開発することや、それを用

パネルディスカッション



カーボンニュートラル社会実現のために、どのようなエネルギー融合が最も有効か、グリーンエネルギー技術確立のために日米はいかに協働するか、またiCNERがそこで果たせる役割などについてパネルディスカッションが行われました。ワディア氏からは米国各州でルールを統一することの難しさや、CO₂排出量の多い産業界をコントロールすることへの課題など米国の現状が紹介されました。エネルギー源について世の中の動きが早く、長期にわたる予測が難しい中、あらゆる事象に備え複数のシナリオが必要だという意見は日米共通でした。また、問題解決のためには政府による助成や課税が必要だという意見や、いかに産業界を巻き込むかについて活発な意見交換が行われました。

いた実際の貯留層への注入後の挙動予測が必要であり、また今後の課題であることが述べられました。

自然界に学ぶ「ヒドロゲナーゼ」 の錯体からの新たなエネルギー源



小江 誠司
九州大学 iCNER
触媒的物質変換研究部門長

燃料電池の電極として一般的に使われている触媒である白金は高価で枯渇性であるため、代替となる触媒が期待されています。自然界の水素酵素(ヒドロゲナーゼ)は、常温常圧の温和な条件で水素から電子を取り出し、能力も白金を超えるものの酸素に対する不安定さが課題でした。小江部門長

を中心とする共同研究によって阿蘇山の温泉における過酷な環境下でのヒドロゲナーゼS₇₇の発見、自然界のヒドロゲナーゼの課題であった酸素に対する安定、燃料電池の触媒として白金に比べ電流密度で18倍、質量活性で637倍という能力の触媒の開発成功例について発表されました。日本だけではなく世界におけるこの発見の位置や意義について提示され、また途中からは理解を助けるためにオリジナル絵本「The Story of Hydrogen Energy」を使って講演が行われました。

連邦政府のエネルギー及び資源 政策、二カ国間協力の機会



サイラス・ワディア
米国科学技術政策局
アシスタントディレクター

一時世の中を変える期待が寄せられたシエールガスが、今では排除される動きを見せるなどエネルギー源への評価は目まぐるしく変化しています。今回、グリーンエネルギー拡大に向けての米国政府の規制、イノベーション政策についてや、2011年に米国政府が発表した「安定したエネルギー未来のためのブループリント」において掲げられた目標とその進捗などが紹介されました。例えば、米国のエネルギー自立の強化に関しては2012年時点ですでに原油輸入量を10%減(1日100万バレルに相当)、

21世紀輸送部門の構築については米国初の重量トラック燃費基準を導入、より健全で住みやすいコミュニティの構築については、

一戸あたり年間400ドル以上の冷暖房費節約が可能になる家屋改築を100万戸以上で実施したなどの具体例が挙げられました。また、2050年までの世界人口増加、気候変動、天然資源の局地化・集中化、技術開発などを予測、化石燃料から天然ガスへのシフトや、風力や太陽光などの再生可能エネルギー発電の設備投資に対する税控除など米国政府の今後の展望が述べられました。また、オバマ大統領のコミットメント「マテリアル・ゲノム・イニシアチブ」にも言及され、通常、発見から20年かかると言われる新材料の市場への投入を、クリーンエネルギーについても2倍の速さ、わずかなコストで行うという目標が掲げられていることが紹介されました。この実現のために、現在隔絶している日米間の技術革新の融合の必要性が訴えられ、例として文部科学省や経済産業省と米国エネルギー省間のクリーンエネルギーに関する協力関係の強化が挙げられました。技術や研究予算を共有したり、共同で研究することにより、公共の利益となるエネルギー問題解決に資するプロジェクトの実施について期待する旨が述べられました。

日本におけるCO₂マネジメントの将来



國武 豊喜
北九州産業学術推進機構 理事長

急速に400ppmに迫る大気中のCO₂濃度は気候変動にも関わる世界共通の問題であり、この流れを変えるためのCO₂管理の重要性和、そのための方法としてCO₂分離・転換やCO₂貯留のアプローチ方法についてそれぞれの具体例とともに講演が行われました。CO₂活用方法として、炭酸飲料、カフェイン除去剤、プラスチックなどからメタノールなどの有用な化学物質への転換、オイルを作る藻を介してのバイオ燃料への転換など10種以上にわたる例が紹介されました。加えて、CO₂回収については、液体吸収法、固体吸収法、膜分離などの技術例が紹介されました。貯留技術の、mmからkmの広範囲にわたる環境下での水とCO₂の挙動メカニズム解明のためには、今後多くの研究が必要なことも説明されました。また、人口、人口密度、化石燃料資源の豊富さ、家庭や産業界の平均電気料金、ガソリン代などの日米比較データを示し、異なる環境では異なる解決方法が必要であることが解説されました。例えば国土が小さな日本では、より効率的で処理能力の高いCO₂管理方法が必要とされるのに対し、貯留地に恵まれ国土も広い米国では局地的に大規模な貯留が

可能であること、また、資源に乏しい日本ではCO₂転換が適していますが、資源が豊富なアメリカではCO₂をそのまま活用することがふさわしいなど、環境による解決方法の違いが実例とともに示されました。CO₂分離・転換研究部門による3000mmの薄膜でのCO₂膜分離や、燃料電池研究部門におけるカーボンナノチューブへの触媒担持技術の開発など、1stCNZERAにおける日米共同研究や日本政府による複数の人工光合成プロジェクトが紹介されました。



講演中の様子

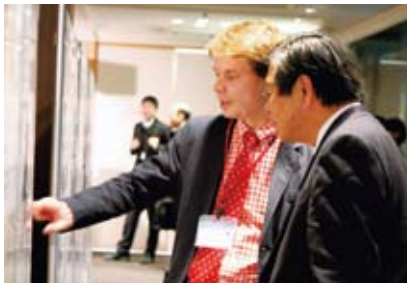
閉会あいさつ



堂免 一成
ミロプログラムオフィサー

各セッションへの所感と、1stCNERの基礎研究によってカーボンニュートラル・エネルギー社会へのガイドラインが設定されることを期待すると述べられました。また、日米の架け橋としての活躍にも期待が寄せられました。

米国大使館、文部科学省、日本学術振興会、米国エネルギー省、日本政府、研究機関、産業界などからの「グリーン・イノベーション」専門家が集まったことで、1stCNERが何を改善、強化し、研究によってどのように今後のエネルギー政策や方向性に影響を与えていくかを探る機会となり、全体的な成功を収めました。



20名以上の研究者によって、参加者に向けたポスターセッションが行われました。



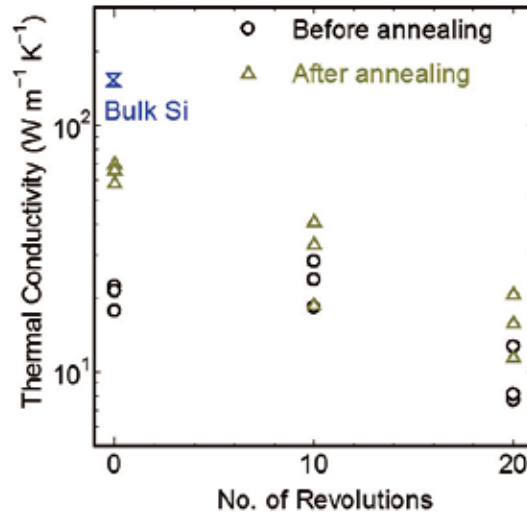
1

HPT加工によるシリコン熱伝導率の低減

Sivasankaran Harish, Mitsuru Tabara, Yoshifumi Ikoma, Zenji Horita, Yasuyuki Takata, David G. Cahill and Masamichi Kohno
Nanoscale Research Letters 2014, 9:326
DOI:10.1186/1556-276X-9-326

熱電変換は熱エネルギーを電気エネルギーに変換することであり、熱電変換により未利用排熱を電気として回収することによる省エネ効果が期待されている。熱電変換材料の開発ではZT値 ($ZT = S^2 \sigma T / k$, S : ゼーベック係数, σ : 電気伝導率, T : 温度, k : 熱伝導率)を向上させることが重要となり、一つのアプローチとして材料の熱伝導率を下げる試みがこれまで活発になされている。

本研究ではシリコンにHPT加工(High Pressure Torsion、高圧ひずみ加工)を施すことによって結晶粒を超微細化し、シリコンの熱伝導率 ($142 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)を約1/20 ($7.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)に軽減することを可能とした。HPT加工は多種の材料に適用可能なプロセスであることから新しい熱電材料の創製手法として期待される。



HPT加工を施したシリコン材料の熱伝導率(横軸:HPT加工における回転数、縦軸:熱伝導率)。加工における回転数を増やすに従い、材料の内部構造が変化し熱伝導率が低下する。また加工された材料をAnnealing(熱処理)すると加工によって生じた微小結晶粒が減少するため、熱伝導率が高くなる傾向となる。

2

準安定オーステナイト系ステンレス鋼における安定オーステナイト層の形成による水素脆化の抑制

Toshihiro Tsuchiyama, Koichi Tsuboi, Shuichi Iwanaga, Takuro Masumura, Macadre Arnaud Paul Alain, Nobuo Nakada and Setsuo Takaki
Scripta Materialia 2014,90-91:14
DOI:10.1016/j.scriptamat.2014.07.005

水素社会を支えるインフラ整備には、高い強度と耐水素脆化特性を兼ね備えた構造用鉄鋼材料の開発が必要となる。鉄鋼材料は様々な用途に適した多数の鋼種が量産されているが、一般的な高強度鋼に用いられるマルテンサイト鋼は水素脆化を発現しやすいのに対して、耐水素脆化特性に優れたオーステナイト鋼は強度が低く、両者はともに水素構造材料として一長一短と言える。そこで私達は、組織制御によってそれぞれの長所のみが顕在化するハイブリット化を試みた。具体的には、強度を支えるマルテンサイト組織を主体としつつ、水素の優先侵入経路である鋼板表面のみに厚さ数百 μm のオーステナイトを意図的に形成させたステンレス鋼を創製した(図1)。その結果、この鋼は、非常に高い強度レベルを維持したまま、優れた耐水素脆化特性を発現し(図2)、私達の中・長期的な目標を達成する特性を示した。この研究成果は、水素環境に適した鋼種開発の一つの研究指針として役立つものである。

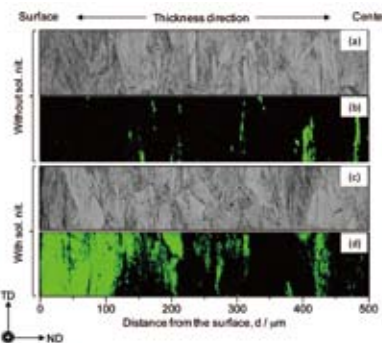


図1 60%冷間圧延したオーステナイト系ステンレス鋼SUS304の光学顕微鏡写真(a,c)とEBSD(電子線後方散乱解析法)相マップ(b,d)。EBSD相マップ中の緑色がオーステナイト分布を示す。(a,b: オーステナイトレイヤーなし、c,d: オーステナイトレイヤーあり)

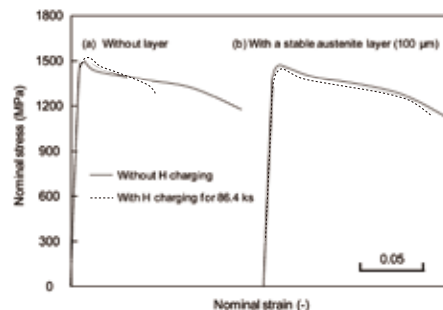


図2 60%冷間圧延したオーステナイト系ステンレス鋼SUS304における水素チャージによる公称応力-ひずみ曲線の変化。(a: オーステナイトレイヤーなし、b: オーステナイトレイヤーあり)

3

二酸化炭素とCCSの知識及び認知の関連性調査：国際的研究

Anne-Maree Dowd, Kenshi Itaoka, Peta Ashworth, Aya Saito and Marjolein de Best-Waldhober

International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 28, September 2014, Pages 79–87
DOI: 10.1016/j.ijggc.2014.06.009

I²CNERは基礎研究機関であるが、エネルギーアナリシス研究部門においては、低炭素排出エネルギー技術に対する市民の理解を高めることを主眼とし、工学分野及び社会科学分野にわたって応用科学研究を行なっている。

CCS(二酸化炭素の回収、貯留)は、二酸化炭素排出を大幅に削減するとして期待されている技術である。しかし、CCSは比較的新しい技術であるため、不確定要素が伴い、実施によるリスクも懸念されている。そこで、CCS技術を的確に伝達する効果的な方法の模索が不可欠となっている。この研究では、世論調査において二酸化炭素及びCCSに関連する三つの異なる情報パッケージを提供し、それぞれがCCS実施についての意見にどのような影響を与えるかを調査した。その結果、分散分析法(下表参照)により、CCS実施の意見に対して、二酸化炭素自体の特徴に関する情報提供は肯定的影響を、二酸化炭素の自然現象に関する情報提供は否定的影響を及ぼすことが、それぞれ顕著に認められた。また、CCSにおける二酸化炭素の挙動についての情報提供は、CCS実施に対する意見に否定的影響を与えることがわかった。CCSについての理解を促進する際には、二酸化炭素自体の特性及び科学的性質に関する情報をコミュニケーションに組み込むべきであるという示唆が得られた。

提供された情報の種類によって、CCSの実施に関する意見が初回質問と第2回質問ではどう変化したかについての分散分析

要因 (情報提供の種類)	統計	初回質問および第2回質問における変化		
		国単位での実施 賛成 (5)- 反対 (1)	オンショアでの実施 賛成 (5)- 反対 (1)	オフショアでの実施 賛成 (5)- 反対 (1)
二酸化炭素の特徴	Type III 偏差平方和	7.773	4.043	4.454
	F 値	13.537	7.168	7.485
	危険率	0.000	0.007	0.006
二酸化炭素の自然現象	Type III 偏差平方和	3.803	4.278	4.657
	F 値	6.623	7.584	7.826
	危険率	0.010	0.006	0.005
CCSにおける二酸化炭素の挙動	Type III 偏差平方和	2.447	2.631	1.404
	F 値	4.261	4.664	2.360
	危険率	0.039	0.031	0.125

注)
■ 肯定的影響 危険率<0.01
■ 肯定的影響 危険率<0.05
■ 否定的影響 危険率<0.01
■ 否定的影響 危険率<0.05

肯定的あるいは否定的影響かは、各変数の変化の平均値の符号によって判断した

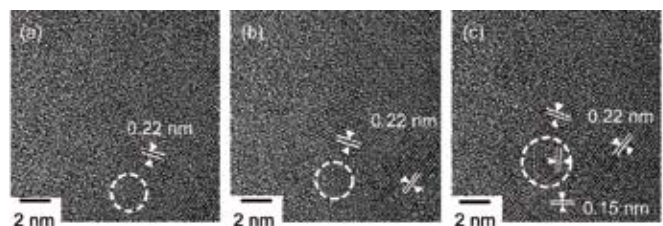
4

収差補正付環境制御型透過電子顕微鏡を用いた Mg-Ni膜水素化反応のその場観察

Junko Matsuda, Kenta Yoshida, Yukichi Sasaki, Naoki Uchiyama and Etsuo Akiba

Appl. Phys. Lett. 105, 083903 (2014)
DOI: 10.1063/1.4894101

室温で4質量%以上の水素吸蔵量が期待でき、燃料電池自動車用水素貯蔵材料として注目されているMg-Ni膜の水素化反応について、レンズ収差補正機能を備えた環境制御型透過電子顕微鏡(ETEM)を用いて、80-100Paの水素雰囲気下でその場観察を行った。その結果、Mg-Ni膜の水素化初期段階で初めにアモルファスからMg₂NiH₄が結晶化し、次にMgH₂が結晶化することを結晶格子レベルの高分解能像でとらえることに成功した。この結果はMg-Ni膜においてMg₂Niの水素化がMgの水素化を促進していることを示しており、Mg-Ni膜の水素貯蔵メカニズム解明に寄与するものと考えられる。本研究は反応ガスを直接電子顕微鏡カラム内に導入するタイプのETEMでは世界で初めて水素化反応を高分解能その場観察した例であり、他の水素関連材料中での金属-水素相互作用メカニズム解明への応用が期待される。



室温、80 Paの水素雰囲気中でその場観察された膜厚70 nmのMg₂Ni膜断面TEM写真(動画から取り込んだもの): (a) 高分解能観察開始40秒後; (b) 同100秒後; (c) 同140秒後。(a) 中点線で囲んだアモルファス部分が(b)では結晶化しており、(c)では径2 nm以上の結晶に成長している。0.22 nmと0.15 nmの格子面間隔はそれぞれMg₂NiH₄の(222)面、MgH₂の(002)面に相当する。



5 高プロトン伝導性配位高分子中でのイオン置換によるプロトン伝導性の制御

Masaaki Sadakiyo, Teppei Yamada and Hiroshi Kitagawa

Journal of the American Chemical Society 2014,136:13166
DOI:10.1021/ja507634v

高効率なエネルギー変換デバイスである燃料電池は、電解質としてプロトン伝導体を用いており、プロトン伝導性の自在制御は固体化学の重要な課題である。従来の有機ポリマー電解質は非晶質であり、プロトンの伝播を担う水素結合ネットワークの構造が明らかではないため、その構造や構成要素を直接制御することは不可能であった。本研究では、細孔内に結晶性的水素結合ネットワークを持つプロトン伝導性配位高分子を用いて、構成要素である対イオンを非プロトン性イオンに置換することにより、プロトン伝導性を制御することに成功した(図1)。プロトン性のアンモニウムイオンが存在する場合、約 10^{-2} S cm $^{-1}$ の高イオン伝導性を示すのに対し、非プロトン性のカリウムイオンに置換した場合には、同一構造でありながら、約 10^{-4} S cm $^{-1}$ 程度に伝導度が抑制されることを見出した(図2)。本研究の成果は、電解質中の現象解明に寄与し、高性能なイオン伝導体の設計・合成に貢献することが期待される。

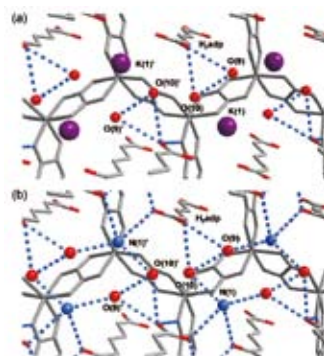


図1 配位高分子内の水素結合ネットワークの構造: (a) カリウム体、(b) アンモニウム体

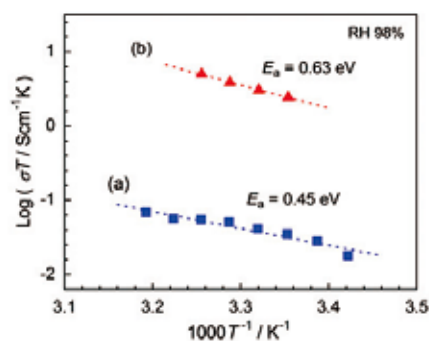


図2 イオン伝導度のアレニウスプロット: (a) カリウム体、(b) アンモニウム体

6 動的金属錯体の超分子化学による半導体性単層カーボンナノチューブの選択的抽出

Fumiyuki Toshimitsu and Naotoshi Nakashima

Nature Communications 5, Article number: 5041
DOI: 10.1038/ncomms6041

単層カーボンナノチューブ (SWNT) は、効率的な太陽光の吸収や、バルク材料にはない電気特性を有し、エネルギーや環境など様々な分野で新しい基盤材料として注目されている。しかし、溶媒への可溶化が困難かつ、異性体や不純物が混在しているため、特に有用な半導体性SWNTの高純度精製が課題であった。本研究では、可逆な結合生成を示す超分子金属錯体型可溶化剤をデザインすることで、異性体の選択的分離及び可溶化剤をも除去できるSWNT精製を達成した。SWNT表面で金属錯体が逐次的に伸長されることを利用し、従来よりも高濃度でSWNTを分散させ貧溶媒を添加することで、SWNTと可溶化剤の相互作用の違いから半導体性SWNTの選択的な抽出を実現した。さらに、錯体部位を酸添加で分解させ、可溶化剤を完全に除去できることが確認された。この可溶化剤は中和により再生可能であり、繰り返し分離精製に供することができる。今後、高効率エネルギー変換技術の礎となる高純度半導体性SWNTの大量供給技術の確立につながると期待される。

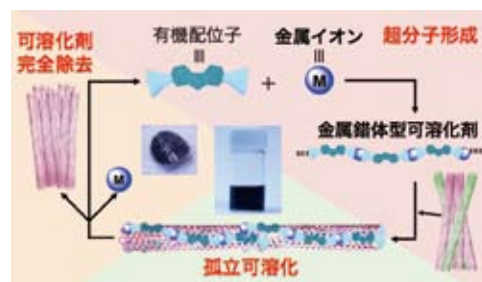


図1 リサイクル可能な超分子金属錯体型可溶化剤による、半導体性SWNTの選択的抽出と、可溶化剤除去による高純度精製のイメージ図

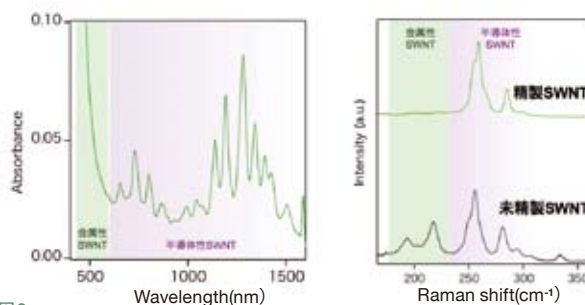


図2 選択的に抽出された半導体性SWNTの可視-近赤外吸収スペクトル(左)と、精製前後におけるラマンスペクトル(右)