

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360352

研究課題名(和文) 表面科学的手法による金属触媒と炭素担体間の相互作用の解明

研究課題名(英文) Surface scientific approaches to clarify the interaction between metal catalysts and carbon supports

研究代表者

中村 潤児 (Nakamura, Junji)

筑波大学・数理物質系・教授

研究者番号：40227905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円、(間接経費) 4,260,000円

研究成果の概要(和文)：Ptクラスターをサブナノメートルから4nmの間でサイズを制御してグラフェンに高分散担持できた。PtのサイズによってCOの電気化学的酸化がどのように変化するかを調べた結果、Ptサブナノクラスターの活性が極めて高いことがわかった。粒子サイズが大きくなるとともに活性は低下する。サイズが小さいとPtの電子状態はバルクPtのものとは大きく異なる。すなわち、Pt/グラフェン触媒における炭素担体効果は著しい。また、窒素をグラフェンにドーピングするとPtクラスターの触媒活性や電子状態が変化することも明らかとなった。本研究成果は、グラフェンを用いた燃料電池への応用が可能であることを意味している。

研究成果の概要(英文)：The size of Pt clusters supported on graphene was successfully controlled between sub-nanometers and 4 nm. The Pt subnano-clusters show high catalytic activities for electro-oxidation of CO. The activities decrease with increasing particle size of Pt. The electronic structure of Pt clusters with subnano-meters is significantly modified compared to that of bulk Pt. That is, the carbon support effect is significant for Pt/graphene catalysts. Nitrogen-doping into graphene further modified the electronic structure and the catalytic properties of Pt clusters. The results in the research project mean that graphene-supported Pt catalysts can be applied to fuel cells.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：白金 ナノクラスター 触媒 燃料電池 表面科学 グラフェン ナノカーボン 水素

## 1. 研究開始当初の背景

工業触媒として用いられる炭素担持触媒において担体効果が著しいことはよく知られている。活性炭に担持した触媒において異常な活性や選択性が見られる。例えば、活性炭担持 Ni 触媒がメタネーション活性を示さないというのである。Ni 表面が CO 分子を解離させるというのは、触媒や表面の分野での常識である。メタネーション、すなわち、CO と H<sub>2</sub> から CH<sub>4</sub> が生成する反応に対して Ni 触媒が最も活性である。しかし、Ni 微粒子を活性炭に担持すると、CO は解離しない。この活性炭担持 Ni 触媒はカルボニル化反応に対して特異的な活性を示す。また、アンモニア合成活性を有すると一般に知られる Ru 触媒を活性炭に担持すると、Ru のアンモニア合成活性が消失すると報告されている。前出の藤元らの著書には、その他炭素担持触媒の異常な活性がまとめられているが、そのメカニズムは不明とされている。

炭素の異常な担体効果は、我々の燃料電池電極触媒の研究でも確認された。カーボンナノチューブ(以下、CNT と呼ぶ)に担持した Pt 触媒が高い活性を示すことを 2004 年に報告した [Chem. Comm. 840 (2004) および Catalysis Today (2004)] が、その後、多くの論文によって CNT 担体の優位性が確認されている。我々の論文が注目された理由は、燃料電池電極触媒における Pt 使用量の削減に貢献するという現代的意味を持つからである。そこで我々は、さらに担体効果に着目し、グラファイトを剥離したグラフェンに Pt を担持し担体効果を調べたところ、メタノール酸化に対して非常に高い電極触媒活性を示すことを見出した (Nano Letters 2009)。驚いたことに、グラフェン上の Pt 粒子のサイズは 1 ナノメートル以下であり原子状に近いものであった。通常炭素表面には 1-5 nm であり、1 nm 以下という報告はない。この結果もまた炭素と Pt との強い界面相互作用に由来するものと考えられる。

このように炭素と金属微粒子の相互作用によって金属触媒の活性に著しい変化をもたらされることは、担体効果を利用した金属触媒粒子の電子状態および触媒機能の制御可能なことを意味している。そこで我々は 2006 年に、申請者の専門である表面科学的手法を用いて、炭素と金属原子の相互作用に関する研究に着手した。その結果、グラファイト表面に生成する Pt 微粒子には、単原子層の形態のものが、特異な触媒機能を示すことを見出した (J. Phys. Chem. C, 112, 15607, 2008)。しかし、国内外を通して、炭素担体効果の触媒研究に焦点を絞ったプロジェクト的な試みはなかった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的の第一は、表面科学的手法を駆使して、炭素と金属微粒子の界面相互作用のメカニズムを原子・電子レベル解明するこ

とである。すなわち、グラファイトやグラフェンの表面に、サイズを制御した(数 nm)の金属微粒子を蒸着させたときに、サイズによって金属微粒子の電子状態と触媒機能がどのような担体の影響を受けるかを明らかにする。高配向熱分解グラファイト(HOPG: highly oriented pyrolytic graphite)表面やグラフェンをモデル炭素担体とする。Pt などの金属微粒子を炭素表面に蒸着し、触媒活性と吸着能を評価し、同時に電子状態と粒子の構造を決定する実験を行う。

目的の第二は、グラファイトやグラフェンの電子状態を欠陥やドーピングによって制御し、その変調した電子状態を用いて触媒粒子の電子状態と触媒機能を制御することである。特に着目するのは、グラファイトやグラフェンの炭素原子における電子状態の不均一性である。これまでに欠陥付近(ジグザグエッジ)の炭素原子には非結合性 p 軌道が生成することが知られている。そのようなサイトが金属微粒子と強く相互作用する可能性がある。この非結合性軌道の電子準位がグラファイト表面の金属微粒子にどのような影響を与えるかが焦点となる。

## 3. 研究の方法

高配向熱分解グラファイト(HOPG: highly oriented pyrolytic graphite)やグラフェン表面に Pt などの微粒子を担持し、その金属ナノ粒子の電子状態、形態、格子定数、吸着能、触媒活性を、走査トンネル顕微鏡 (STM)、走査トンネル分光法(STS)、超音速分子線反応法、超音速分子線散乱、角度分解脱離種速度分布計測、昇温脱離法、反射赤外吸収分光、高圧触媒活性試験、EXAFS、XANES などの実験によってその詳細を明らかにする。

また、電気化学実験によって、燃料電池電極触媒の可能性を評価する。

## 4. 研究成果

(1) グラフェンサブナノクラスターの高分散担持

代表的な成果として、グラフェンに白金のサブナノクラスターを高分散担持することに成功した。通常は触媒担体として、カーボンブラックを使用するが、その場合の Pt 粒子の直径は 2~5nm であり、その Pt 表面積は 50~80 m<sup>2</sup>/g である。どのような炭素担体に白金を担持しても、粒子径が 1 nm 以下になることは報告されていない。しかし、本研究において、グラフェンに担持した白金クラスターを電子顕微鏡で観察した結果、サイズは 0.5 nm 程度であり、そのクラスターがグラフェン一面に分散していることが明らかとなった。すなわち、ひとつの Pt クラスターには白金原子が 3~8 個程度しか含まれていないことになる。Pt 表面積を測定した結果観測した結果、170m<sup>2</sup>/g という驚異的に大きな値を得た。理論限界値 206m<sup>2</sup>/g に近い値である。なぜ、サブナノメートルサイズの Pt クラス

ターができたり、高担持量でも小粒径を保たれるかに興味を持たれる。これは Pt 微粒子とグラファイト系炭素との界面相互作用の結果と結論された。触媒の粒子径が小さくなると、粒子を構成する Pt 全原子数に対する界面の Pt 原子数の割合が高くなる。グラファイトにおいて単原子層の Pt クラスタ(直径 2 nm 以下)が生成することを既に見出している。この Pt クラスタは通常の Pt 触媒とは異なった性質を示し、 $H_2$ - $D_2$  交換反応活性が著しく大きく、また、CO の吸着エネルギーが著しく小さい。この結果は、界面の Pt 炭素との界面にある Pt 原子の電子状態が、バルクの Pt のそれと異なっていることによって説明される。すなわち、グラファイト表面の軌道と Pt の d 軌道との間の -d 相互作用が働くものとして説明される。グラファイトの炭素には炭素と炭素がある。前者は真下の二層目に炭素原子が存在するサイトで、後者は真下に炭素原子が存在しないサイトである。STM 像は Pt 原子が炭素に -d 相互作用によって吸着することを示している。金属錯体の分野では、-d 相互作用についてよく知られている。界面相互作用を利用して、高価な Pt の活性を安価な炭素を用いて促進し、Pt の使用量を削減できることは極めて魅力的である。

## (2) Pt サブナノクラスタの電子状態と窒素ドーピングの効果

グラフェンに担持した Pt 粒子は 1nm 以下のサブナノクラスタを形成することを見出したが、どのような調製法でもサブナノクラスタが生成するとは限らない。含浸法という調製法で可能になる。そこで、我々はサブナノクラスタがどのようなメカニズムで生成するかを調べた。触媒前駆体として  $H_2PtCl_6$  を使用するが、pH にもよるがエタノール水溶液中で、 $[PtCl_5(OH)]^-$ 、 $[PtCl_3(OH)_3]^{2-}$ 、 $[Pt(OH)_5]^{2-}$  などが生成する。この時点で  $Pt^{4+}$  が生成する。この水溶液にグラフェンを投入すると前駆体の還元が進み  $Pt(OH)_2$  または  $PtO$  の微粒子が生成しグラフェンに付着する。この時に  $Pt^{4+}$  は  $Pt^{2+}$  へと還元される。グラフェン上には凝集した 5nm 以上の比較的大きな粒子が生成する。これを水素還元することによって、Pt 金属原子へと還元されグラフェン上を拡散しサブナノクラスタが生成する。さらに、Pt の担持量と粒子径には相関があり、担持量が大きくなるにつれ粒子径は大きくなることがわかった。グラフェンの表面積は  $600m^2$  程度であったが、Pt 担持量が 10wt% でサブナノクラスタが多かったが、20wt% になると半数以上は 1 nm 以上の径となる。より表面積を大きくできれば、高担持でサブナノクラスタを多量につくることができるものと期待される。さらに面白いことは、クラスタサイズによって電子状態が変調することである。 $Pt4f$  の XPS 結合エネルギーピークはサブナノクラスタ生成に伴い高エネ

ルギー側にシフトする。Pt からグラフェンへの電子移動が起こることを示している。Pt 担持率を増やすと、Pt 粒子径は大きくなり、 $Pt4f$  ピークは低エネルギー側にシフトしつつにはバルク Pt のものとはほぼ同じ値になる。したがって、担持率によって、Pt の電子状態を制御することができたことになる。これは触媒化学的に重要な意味を持ち、炭素-Pt 界面相互作用を利用して触媒活性を制御できることを示す。実際、CO の電気化学的酸化において、Pt サブナノクラスタが高い活性を示すことを見出した。

さらにグラフェンに窒素をドーピングすると Pt 粒子の電子状態は著しく変化し、CO 電気化学的酸化の活性や酸素還元活性が変化することを見いだした。窒素ドーピングは共役系に著しい変化をもたらし、さらに Pt の電子状態を変化させるという実験的証拠を得た。もう一つの成果として、窒素ドーピンググラファイト表面の局所電子状態を明らかにすることに成功した。窒素を含有したナノカーボンは優れた触媒特性や担体特性を示すことが最近の研究でわかっている。しかしながら、炭素の電子状態が窒素によって具体的にどのような影響を受けて物性を変化させているのかは明らかとなっていない。そこで X 線光電子分光(XPS)、走査トンネル顕微鏡(STM)、走査トンネル分光(STS)および密度汎関数法による第一原理計算(DFT)によって、窒素ドーピンググラファイトのドーパント窒素原子近傍の局所電子状態を詳細に解析した。超高真空下で室温のグラファイトに窒素イオン衝撃を行った後、900 K の加熱処理を施すことで窒素ドーピンググラファイトを調製した。XPS 計測により、窒素ドーピンググラファイト表面には、主に 2 種類の窒素があることがわかった。すなわち、炭素欠損部を伴う構造のピリジン型窒素(2 つの炭素原子と結合している窒素)と、グラファイト構造の炭素を置換した構造の置換型窒素(3 つの炭素原子と結合している窒素)の 2 種類であることがわかった。それぞれの構造と局所電子状態を STM/STS 測定及び DFT 計算により原子分解能で明らかにした結果である。どちらの窒素の場合も周囲の炭素の電子状態が変調され、STM で三角形の形状をした複数の輝点として観測された。ピリジン型窒素の場合、窒素原子が  $sp^2$  構造を保持しており、5 員環を向いた方向の窒素のシグマ軌道に電子が詰まり、電子対がグラファイトベーサル面と平行方向に形成されることが DFT 計算の解析により分かった。この電子対の形成に伴い窒素が負に帯電する。このためピリジン型窒素の XPS における  $N1s$  ピークは比較的低エネルギーの 398.5 eV に出現する。ピリジン型窒素の周囲の炭素原子は、この窒素による負のクーロンポテンシャルを遮蔽するために正に帯電すると考えられる。この結果、本来はフェルミエネルギーに現れると考えられる炭素の欠陥構造形成に起因する非結合性の局在電

子準位が安定化し占有準位側の-370 mV のピークとして STS スペクトルに現れてくる。すなわち、ピリジン型窒素周辺の炭素は電子授与性の準位となる局在 電子準位を有することが明らかとなった。これはルイス塩基とみなすことができ、特異な化学反応を示すことが示唆される。

一方、置換型窒素の場合は、窒素原子が  $sp^2$  構造を形成し 共役系に参画する。この際、窒素原子がもつ余剰の電子は安定な 軌道にドーブされ、窒素原子は正に帯電することが DFT 計算の解析から明らかとなった。窒素が正に帯電するため、置換型窒素の XPS における N1s ピークは比較的高エネルギーの 401.1 eV に出現する。ピリジン型窒素の N1s (398.5eV) と比べるとその差は 2.6 eV にも及ぶ。置換型窒素の周囲の炭素原子は、この窒素による正のクーロンポテンシャルを遮蔽するために負に帯電すると考えられる。その結果、本来はフェルミエネルギーに現れると考えられる炭素の欠陥構造形成に起因する非結合性の局在 電子準位が不安定化し、非占有準位側の 600mV のピークとして STS スペクトルに現れてくる。すなわち、置換型窒素周辺の炭素は電子授与性の準位となる局在 電子準位を有することが明らかとなった。これはルイス酸とみなすことができ、特異な化学反応を示すことが示唆される。

### (3) Pt/グラフェン触媒の Pt 粒子径制御

我々は、Pt の担持量を精密に測りグラフェンに担持することによって、Pt の粒子径を制御することができることを見出した。Pt 仕込み量 (10 ~ 70 wt%) に対して、熱重量測定法 (TG) で測定した Pt 担持量をプロットした結果、仕込み量と担持量が一致することが明らかとなった。すなわち、触媒調製時に Pt 前駆体の Pt すべてがグラフェンに担持されたわけである。このように担持量が精密に制御できたので、次に担持量に対する Pt 粒子サイズの変化を調べた。高分解能電子顕微鏡で GNS 上の Pt 触媒の粒径を調べた。10wt%Pt/GNS 触媒では、TEM 測定における平均サイズが 0.87 nm である。これは極めて小さいサイズであり、サブナノクラスターが生成することを意味している。Pt 粒子径(直径)が 0.5~1.0 nm の場合、クラスターを構成する Pt 原子数は 10~30 個である。CB の場合、2~5 nm である。我々は Pt/GNS と同様な調製法で Pt/CB を調製したが、Pt サブナノクラスターの生成は観測されなかった。Pt サブナノクラスターが生成するとき特徴的なことは XRD パターンにおいて Pt(111) の回折ピーク強度が小さくブロードになることである。しかし、担持量が増加するに伴い Pt 粒子径が大きくなる。20~30wt% においても Pt サブナノクラスターが生成するが、それ以上では Pt 粒子径が 2 nm (35wt%)、3 nm (60wt%) と大きくなり、70wt% では 4nm となる。ただし、この平均粒子径とは TEM で見積もった数

平均の Pt 粒子径である。この Pt 平均粒子径は、Pt 担持量に対して直線的に増大する。CB 担体の 20wt%Pt 市販触媒では 2nm と 40wt% では 3nm と GNS の場合に比べてサイズが大きいことがわかる。このように Pt/GNS では平均 Pt 粒子径を担持量によって制御できることがわかったので、以下に述べるように、粒子径と触媒活性および Pt 電子状態がどのように関係しているかを調べることが可能になった。

Pt/GNS 触媒の特異性は CO ストリッピングボルタンメトリーによく示された。0.1 M HClO<sub>4</sub> 中 60 °C における 10~70wt%Pt/GNS および Pt/CB 触媒でのストリッピングボルタンメトリーの実験を行った。まず驚くのは Pt 表面積の大きさである。10wt%Pt/GNS 触媒の電気化学的 surface area (ECSA: Electrochemical surface area) は 170 m<sup>2</sup>/g という驚異的な大きさである。通常 Pt 触媒の表面積は 60~80 m<sup>2</sup>/g の大きさであることから、2~3 倍の表面積である。これは白金使用量削減の観点から大きな優位点である。水素脱離ボルタンメトリーでも同様に 10wt% の場合、170 m<sup>2</sup>/g と測定された。ECSA から見積もった Pt 粒子径は 0.81 nm となり、TEM の結果とよく対応している。Pt 担持量が大きくなると Pt 粒子径は大きくなり、Pt の ECSA は小さくなる。

ここで、CO の酸化開始電位に着目すると、低 Pt 担持量の場合に、開始電位が低いことがわかった。10~20wt% の担持量での 0.31V という値が、30~70wt% になる 0.34~0.36V と高電位側にシフトする。Pt/CB 触媒では、同様な実験条件にもかかわらず 0.42V とかなり高い。Pt 担持量と CO 酸化開始電位の関係を調べると、低担持量において開始電位が低い、すなわち CO 酸化活性が大きいことがわかった。このように、電極触媒性能に及ぼすグラフェンの顕著な担体効果が明らかである。担体効果は Pt の粒子径が小さいほど大きい。これは、サイズが小さくなると、よりグラフェンと接する Pt 原子の数が相対的に増えるためと考えられる。

グラフェンの担体効果は、Pt の d 軌道とグラフェンの 軌道の相互作用によるものと考えられる。すなわち Pt と炭素の化学結合である。サイズが小さくなるとより多数の Pt 原子が炭素原子と結合する。その結果、Pt の電子状態は変化し、触媒活性が変化するものと説明される。実際に、Pt の電子状態の変化は Pt4f でも観測された。Pt4f の状態は XPS 測定によって調べた。10~70 wt% の Pt/GNS 触媒および 20wt%、40wt% の Pt/CB 市販触媒における XPS スペクトルを測定した結果、Pt4f ピークが担持量によって変化することがわかった。バルク Pt では Pt 4f<sub>7/2</sub> のピークが 71.2eV に出るが、低担持量ほど高エネルギー側にシフトし、10wt%Pt/GNS では 71.8eV に XPS ピークが現れた。これは Pt から炭素への電子移動が起こり、Pt が若干正電荷を有することを意味する。低担持量ほど Pt 粒子サイ

ズが小さくなることを考えると、界面における Pt 原子と炭素原子の化学的相互作用（化学結合）がサイズの減少と共に顕著になるものと結論される。Pt/GNS と Pt/CB を比較すると、明らかに Pt/GNS の方が、高エネルギーシフトが大きい。CB はグラフェンシートがスタックしてできた微粒子であり、Pt 粒子が担持される CB 微粒子表面は、主として 共役性のグラフェン平坦面でなく、エッジや官能基などが存在する部位と考えられる。炭素と Pt の界面相互作用は比較的平坦な面で現れるものと考えられる。ただし、これまでの TEM 観測の結果などから、完全なグラフェン平坦面よりも、平坦面に少量の欠陥がある場合の方が、Pt-C の界面相互作用が大きいものと考えている。

以上のべたように、グラフェンに担持した Pt 触媒における優位性が明らかとなった。応用面で重要なことは、高価な貴金属の化学的性質を安価な炭素材料によって向上させ得ることである。一方、科学的観点からは、金属の電子状態をチューンできることに興味もたれ、その界面相互作用のメカニズムの解明が待たれる。そもそも化学的に安定な共役系グラファイト面は反応的に不活性である。それがなぜ、どのようにして相互作用するかがポイントとなる。我々はその観点からの表面科学的研究を行なっている。点欠陥や窒素原子を導入したグラファイト面の局所電子状態を走査トンネル分光（STS）で調べてみると、エッジ状態が欠陥付近に伝搬することを見出した。化学の言葉でいうと非結合性軌道である。その非結合性軌道がフェルミレベルよりも高いエネルギー準位にあれば空の軌道となり、非結合性軌道を示す炭素原子は酸点とみなせる。逆に、フェルミレベルよりも低い準位の非結合性軌道には電子が詰まっており塩基点と言える。このような非結合性軌道がグラファイト系炭素の化学反応性を表すものと考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 8 件）

Rikson Asman Siburian, Takahiro Kondo, Junji Nakamura, Size Control to a Sub-Nanometer Scale in Platinum Catalysts on Graphene, J. Phys. Chem. C, 査読有, Vol. 117, 2013, 3635 - 3645

DOI : 10.1021/jp311852j

中村潤児, グラフェンの反応性と触媒への応用, 化学と工業 4 月号, 査読無, Vol. 66, No.4, 2013, 307 - 309

中村潤児, ナノカーボンの表面化学と触媒設計, 超精密, 査読無, Vol.19, 2013, 25 - 29

Junji Nakamura, Takahiro Kondo,

Support Effects of Carbon on Pt Catalysts, Topics in Catalysis, 査読有, Vol. 56, 2013, 1560 - 1568

DOI : 10.1007/s11244-013-0144-9

中村潤児, グラフェン担持電極触媒における担体効果, Electrochemistry, 査読有, Vol. 81, 2013, 650 - 654

DOI:10.5796/electrochemistry.81.650

Rikson Asman Siburian, Takahiro Kondo, and Nakamura, Size Control to a Sub-Nanometer Scale in Platinum Catalysts on Graphene, J. Phys. Chem. C, 査読有, Vol. 117, 2013, 3635 - 3645

DOI : 10.1021/jp311852j

中村潤児, グラフェン担持電極触媒における担体効果, 触媒, 査読無, Vol. 54, 2012, 398 - 403

Rikson Asman Siburian and Junji Nakamura, Formation Process of Pt Subnano-Clusters on Graphene Nanosheets, J. Phys. Chem. C, 査読有, Vol. 116, 2012, 22947 - 22953

DOI : 10.1021/jp307327e

〔学会発表〕（計 9 件）うち招待講演 7 件

中村潤児, ナノ炭素の表面化学と触媒応用、一般社団法人ニューダイヤモンドフォーラム 平成 24 年度第 3 回研究会、2013 年 1 月 24 日、東京大学駒場リサーチキャンパス（東京）（招待講演）

中村潤児, ナノカーボンの表面化学と触媒設計、超精密加工専門委員会 第 64 回研究会 液体に関する先端科学とデバイス分野の新展開、2012 年 10 月 4 日、メルパルク大阪（大阪）（招待講演）

SIBURIAN, Rikson, TAKEGUCHI, Masaki, NAKAMURA, Junji, Platinum subnano-cluster catalysts on graphene nano sheets, 第 110 回触媒討論会, 2012 年 9 月 24 日, 九州大学伊都キャンパス（福岡）

中村潤児, 燃料電池電極触媒機能と炭素担体効果, 第 60 回固体イオニクス研究会, 2012 年 5 月 31 日, 物質・材料研究機構（茨城）（招待講演）

中村潤児, ナノカーボン担持電極触媒と担体効果, 日本顕微鏡学会第 68 回学術講演会, 2012 年 5 月 16 日, つくば国際会議場（茨城）（招待講演）

Junji Nakamura, Support Effects of Nano-Carbons on the Properties of Fuel Cell Catalysts, GRI symposium III, 2, February, 2012, トヨタテクノミュージアム産業技術記念館（Aichi, Japan）（Invited）

中村潤児, ナノカーボンによる燃料電池電極触媒の活性促進効果, 筑波大学学際物質科学研究センター（TIMS）第 15 回機能性分子シンポジウム, 2012 年 1 月 28

日，筑波大学（茨城）（招待講演）  
Junji Nakamura, Development of  
Electrocatalysts for Fuel Cell, チュニ  
ジア - 日本 文化・科学・技術学術会議  
第 11 回大会 (TJASSST'11), 13,  
November, 2011, Iberostar Saphir  
Palace (Tunisia)(Invited)  
RIKSON, Siburian , 中村潤児、  
Preparation of Pt/Graphene  
Nano-Sheet for CO-Tolerant Catalyst、  
第 108 回触媒討論会 2011 年 9 月 22 日、  
北見工業大学(北海道)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~nakamura\\_](http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~nakamura_lab/index.html)  
[lab/index.html](http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~nakamura_lab/index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 潤児 (NAKAMURA, Junji)

筑波大学・数理物質系・教授

研究者番号：4 0 2 2 7 9 0 5

### (2) 研究分担者

近藤 剛弘 (KONDO, Takahiro)

筑波大学・数理物質系・講師

研究者番号：7 0 3 7 3 3 0 5

### (3) 連携研究者

なし