The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	電子線照射を利用した貴金属ナノ粒子の構造制御とその触媒への応用
Author(s)	山本, 孝夫; 中川, 貴; 清野, 智史 他
Citation	触媒. 2013, 55(4), p. 220-225
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/84548
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

特　集

貴金属触媒の精密構造制御とその活用

電子線照射を利用した貴金属ナノ粒子の構造制御とその触媒への応用

山本孝夫*，中川　貴*，清野智史*，
久貝潤一郎*，大久保雄司*

担持型貴金属ナノ粒子触媒を合成する新たな方法を紹介する．電子線照射が誘起する放射線化学反応で貴金属イオンを還元しナノ粒子とし，水中に共存する下地材表面に担持させる．加熱，還元剤，界面活性剤が不要で，商業用照射施設での大量生産性も持つ．燃料電池電極触媒，CO選択酸化触媒の性能評価結果を紹介する．

1. 緒　言

水溶液に放射線を照射すると，水の放射線分解から生成するラジカルが化学反応を誘起する．この放射線化学的な反応は金属イオンを還元し金属相とし，条件を選べば金属ナノ粒子として安定させる．この放射線によるナノ粒子生成は古く1962年に報告されていたが[1]，我々は照射時にセラミックスや炭素（C）の下地材料が水溶液に共存すると，この上にナノ粒子が担持した複合粒子が生成することを発見した．γ線によるAu/Fe_2O_3生成の初報[2]以降，金属種と下地材の組合せの可能性と材料の機能・応用を研究してきた．加速器からの電子線（Electron Beam, EB）照射によれば，高い線量率が得られるので，桁違いに処理が速いだけでなく非平衡性がより高い物質が出現する．複数種の金属イオンが共存する場合でも，この速い反応により酸化還元電位の序列にとらわれず同時還元が進み合金ナノ粒子を得やすい．また，ひとつの金属種が金属と酸化物の二相に不均化して出現できる場合もある．これらの多元・多相のナノ構造を持つ粒子材料が優れた触媒機能に繋がることの探索/検証とその制御を課題として我々はここ数年研究している．このEB照射法の概要と創製される材料の構造と触媒機能の例を紹介する．

2. 電子線照射による粒子創製

2.1 マクロなプロセス

超純水に原料である金属塩（H_2PtCl_6や$HAuCl_4$等，数mM）と担体粒子を少量の2−プロパノールと共に投入しバイアル瓶に封入する．必要に応じてpH調整剤や錯化剤等の添加やAr脱気と超音波撹拌を施し，室温でEB照射するだけである．照射後にはろ過・水洗・乾燥し粉末試料を得る．還元・粒子化・担持が照射中に進行する簡単なワンポット法である．照射は工業用の電子線照射施設で行う．これは医療器具等の滅菌処理を主業務とする施設である．その平均的な運転条件である約20 kGyの線量を数秒間で照射する．Gyという単位の定義はJ/kgのエネルギー吸収である．20 kGyは約5 cal/gであり殆どが水であるこの反応系は高々5度しか昇温しない．使用した4.8 MeVのEBは水中での飛程は2.4 g/cm^{2}で，この行程内で放射線化学的効果を与える．原料液の深さはこれより浅く，水面上方からEBを入射するため，粒子生成の照射反応場はほぼ均一と考えてよい．

2.2 ミクロなプロセス

反応系の質量の殆どを占める水が殆どの照射エネルギーを吸収し，水が放射線分解して生ずる還元性のラジカルが金属イオンを還元する．水和電子e^-_{aq}がその代表である．2−プロパノールは並行して発生する酸化性ラジカルの捕捉剤として加える．透過能が高いEBはその軌跡上にイオンやラジカルを発生させ化学反応を引き起こす．一般にラジカルは短寿命で（e^-_{aq}は10^{-3} s），反応はスパー（spur）と呼ばれる狭い領域（直径2 nmと言われる）の中で起こる．また，入射電子に弾き出されまだ高エネルギーを保つ二次電子が枝分かれしてカスケードを形成し，最終的には飛程に相当するcmオーダーの深さまで水中に貫入し止まる．軌跡に沿って発生する多数のスパーは相互に百nm以上離れているため，反応は原子的尺度で見れば離散的に発生する極微細なスパー内で起きるが，試験管的尺度では均一に起きる．

水和電子の還元力は強く（−2.6 V *vs.* SHE）卑金属イオンをも還元するが，発生は離散的で短寿命である．また一旦イオンから還元された0価原子も相互に会合しクラスタ

*大阪大学大学院工学研究科

ー化しなければH_3O^+や溶存酸素により再酸化される．したがって，照射線量率を上げ還元種の平衡存在濃度を高めると，金属粒子状態まで成長し易くなる．しかし，あまり卑な金属種は本法によっても還元して粒子材料とするのは難しい．Fe，Co，Ni，Cuといった遷移金属の単独粒子の生成は難しい．しかしPtと共存した場合は別で，Cuは本稿でも紹介するが，かなりの濃度までPtと固溶した合金粒子が得られ，Ni，Coは僅かながら固溶する．また，反応系中の高分子の存在は極微の金属粒子表面を保護し安定化させることが可能で，放射線化学の効果で担体無しの金属コロイドができる過程はBelloniにより良く整理されている[3]．しかしながら，生成期の不安定な極微粒子を担体表面に安定・固定化する我々が扱っているような過程には不明な点が多く残されている．

2.3 本法の特長

本法での粒子材料創製は水溶液中で化学反応が進行し，有機溶媒や加熱が不要である．還元剤や界面活性剤は不要であり触媒応用をめざす場合には，粒子表面に触媒反応を妨げる残留分子が残る懸念が無いので有利である．実際，本稿で紹介する触媒活性は照射後に水洗・乾燥するだけで得られている．また，本法は商業照射施設の運転条件と整合性を持ち，大量生産性があり低コストである．この施設でその殆ど全量が処理されている製品が，医療用の使い捨て注射器であり，この例から処理能力とコストの低さは伺い知れるであろう．実際我々は，Pt量で0.1 gの試料をコンベアに載せ，僅か数分で照射処理できる．「放射線」を使うので何かと心配されるが，数MeVの電子線では放射化は起こらず放射能は残留しない．医療用注射器もこれで処理される例を示したように安全性に心配はない．

照射による反応場は，ミクロには離散的にマクロには均一であり，還元種が急速に発生し照射終了と共に消え去る．したがって，粒子生成の初期段階である核生成を均一かつ高密度に起こし次段の粒子成長に多くの時間を与えない．これは，シングルナノ粒子を狭い粒度分布で得る理想的な条件と言える．また，このような還元・核生成・粒子成長の急速進行と急停止は，還元薬剤の撹拌混合や加熱処理を伴う通常法でできないことであり，多種金属イオンが共存した系では，酸化還元電位の序列に従う暇を与えず合金化ナノ粒子を可能にする．

3. 得られる触媒構造の評価と制御

本法で得られる粒子材料の基本構造は，数nm～数十nmのセラミックスや炭素の下地材の表面に，数nmの金属粒子が多数担持されたものである．二種以上の金属イオンを投入し条件を選べば，コアシェルから急速還元に起因したランダム合金にわたる構造の二元金属粒子が得られる．これらの構造と触媒活性との相関を理解し制御するのが我々の研究の大きな目標のひとつである．

金属相の構造については，TEM観察，XRD（X線回折）とX線吸収スペクトル測定を相補的に用いて情報を得ている．例えば後でより詳しく紹介するPt：Ru＝1：1の二元系の場合，ランダムな合金であればXRDピークが分析で得た化学組成に対応した位置にシフトする．一方，Ptコア/Ruシェル構造のナノ粒子では，Ruシェルは薄く有意な回折をせずPtコアだけが回折ピークを出す．この中間的な構造では，Extended X-ray Absorption Fine Structure（EXAFS）から得られるPt-Pt，Pt-Ru，Ru-Ru，Ru-Ptの配位数（それぞれ$N_{\text{Pt-Pt}}$，$N_{\text{Pt-Ru}}$，$N_{\text{Ru-Ru}}$，$N_{\text{Ru-Pt}}$）とX-ray Absorption Near Edge Structure（XANES）から得られる両元素の化学的状態の情報を参照する．相対的に，合金構造では$N_{\text{Pt-Ru}}$，$N_{\text{Ru-Pt}}$が大きくコアシェル構造では$N_{\text{Pt-Pt}}$，$N_{\text{Ru-Ru}}$が大きい．これらから算出したペアリングファクタは触媒活性と相関があることを見出した[4]．また粒子表面に偏在する元素のXANESは酸化物的であり総配位数が小さくなることも指標となる．

構造制御のための条件探索として，様々な条件での創製実験と構造解析の結果の蓄積と，先述した放射線化学的な還元によるコロイド創製の知識に基づく調査を続けている．まだ不明な点が多いが，次のような過程で構造が左右されていると推測している．まず初期条件として規定される，金属イオンの酸化還元電位，二元系では固相での混合の自由エネルギー，平衡酸素ポテンシャルなどの熱力学的諸量がある．これに対抗して，照射による生成と消滅の動的バランスで決まる還元種の濃度（実質的な還元力），原料や担体の濃度，酸化還元電位の差を緩和する錯化剤，pHなどが，この還元をどんな速さでどの程度まで進めるかに影響している．しかしこれらの詳細は，還元からクラスター生成・粒成長・拡散・担持に至るまでの競合する輸送現象や反応速度も含んだものであろう．これらの解析は今後の大きな挑戦課題と考えている．

4. 燃料電池電極触媒への応用例

炭素にPt系ナノ粒子を担持した材料は，燃料電池の陽極と陰極の両電極の触媒として使用され，さらに高機能化が要求されている．ここでは，EB法で直接メタノール型燃料電池（DMFC）の陽極に用いる炭素担持PtRu合金（PtRu/C）触媒を合成し高い活性を得た例を紹介する．

Fig. 1にEB法で合成したPtRu/CのTEM像を示す．PtとRuの合金化はX線回折のピークシフトから確認され，組成はICP元素分析によればほぼPt：Ru＝1：1である．このように平均粒径が2 nmの合金ナノ粒子が炭素担体上によく分散した触媒材料が得られる．この触媒活性としてDMFC陽極で起こるメタノール酸化反応（$CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6e^- + 6H^+$）の電流をLSV（Linear Sweep Voltammetry）で評価した結果をFig. 2（a）に示す．比較対象として市販のPtRu/C触媒（TEC61E54）での測定結果，および後述するAu添加した触媒試料のデータも併せて表示した．DMFCの陽極駆動電位と言われる0.55 V *vs.* SHEにおいて，PtRu/Cのメタノール酸化電流（58 mA/mg-PtRu）は市販材での値（20 mA/mg-PtRu）よりも約2.9倍高い．こ

のようにEB法によれば，原料を混ぜ合わせて照射するだけで，触媒活性の高い担持型のシングルナノサイズの合金粒子が得られる．これは原料濃度の変化やpH調整しながらDL酒石酸を錯化剤として加える等，条件探索の結果得られたもので，この経験から，PtRu二元系粒子の内部構造をPtコア/Ruシェルからランダム合金までに変えることができた．詳細は論文[5~7]を参照されたい．

この合金構造はこの電極触媒では意義が大きい．CO被毒し不活性化したPt原子にRuが隣接してあれば，これに吸着したOH基がCOをCO_2として被毒を解消する（Bifunctional Mechanism）からである．しかし液相での還元で合金粒子をシングルナノサイズで得ることは難しい．これは，貴なPtが先に還元され卑なRuがそれを追うため相分離するかコアシェル構造となるからであり，また，合金化のため焼鈍すると粒成長し比表面積を大きく損なうからである．この観点からEB法は非常に優れた方法と言える．

PtRu/C研究の延長上として10%のAuを添加したところ触媒の耐久性の向上が示唆される結果を得ている．CV（Cyclic Voltammetry）を繰り返した後のLSVによる酸化電流の劣化の程度をFig. 2（b）に示す．Auを添加しないPtRu/CはCV後に酸化電流が大幅に減ったが，Au添加したPtRuAu/Cでは変化がなく耐久性が向上したと言える．なお，Auの添加によって初期活性は損なわれない．詳細なTEM観察の結果，Au無添加では見られる粒子の変形と成長をAuの添加は明らかに阻止していた[8]．しかしAuの存在状態やメカニズムは今後の課題である．

このように，EB法によればカーボン担持金属（合金）ナノ粒子が簡単に合成され，その複合ナノ粒子は高い触媒活性を示す．本稿では割愛したがPtRu系以外にも，電極触媒としてPtCu/C，PtCo/C，AuPd/Cの合成・構造・活性について報告している[9~11]．また，最近は粒径を維持しつつPtRu担持量を38 wt%まで増やすことに成功した（Fig. 3）．この試料は，触媒重量活性の指標でも市販品を凌いでいる．さらには，照射後の乾燥を兼ねた軽い熱処理を施せばさらに活性を向上できるという成果を得ている．

5.　CO選択酸化触媒への応用例

EB法で合成した触媒のもうひとつの応用研究例としてCOの選択酸化反応を紹介する．この反応は炭化水素等の水蒸気改質と水性ガスシフトを経て得られる粗製H_2中の微量のCOだけを選択的に燃焼・除去する．従来のPt系触媒には問題点があり，低温域ではCOが表面のPtを被覆して反応を滞らせ，高温域ではH_2燃焼が伴うため選択性が低下する．近年，PtSn，PtFe，PtCoの様にPtに添加する第二元素が酸素の吸着・輸送の様子を改善し，低温での活性を向上させるとの報告がある[12]．

EB法によりPt-Cu/Fe_2O_3触媒を合成する際にPt＋Cuの

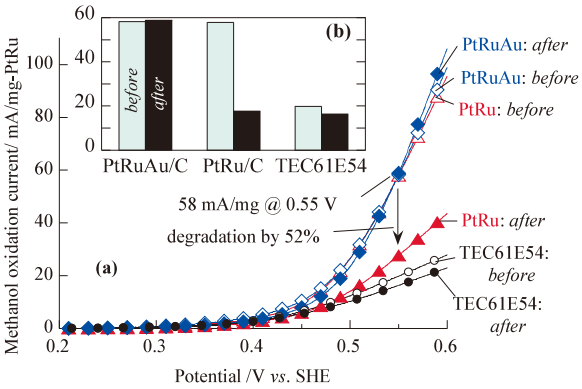

Fig. 2　(a) LSV curves showing methanol oxidation activities of PtRu/C and PtRuAu/C catalysts before and after potential cycling. (b) Degradation of methanol oxidation currents at 0.55 V vs. SHE caused by potential cycling.

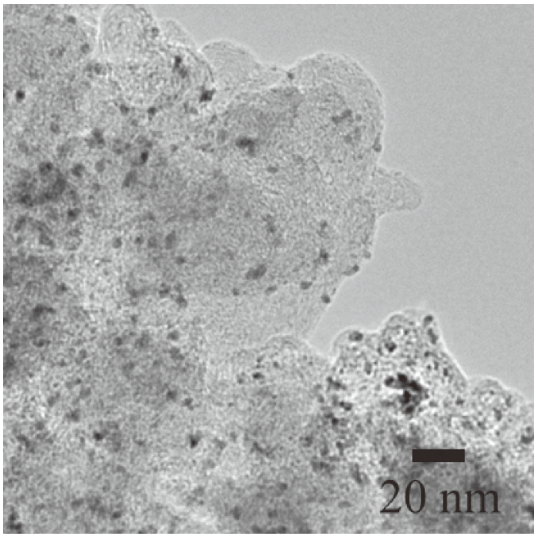

Fig. 1　TEM image of carbon-supported bimetallic PtRu nanoparticle catalyst.

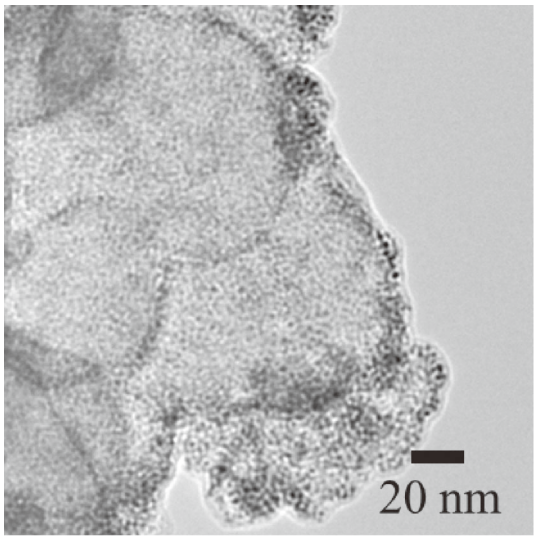

Fig. 3　TEM image of highly-dispersed PtRu/C with high loading（38 wt%）.

総量を固定しCuの担持量を増加させると，表面Ptあたりの CO転化速度はPt：Cu＝25：75付近を境に増加する傾向を見い出した[13]．Pt：Cu＝10：90で活性は最高となるが，その触媒のTEM像とCuのEDXマッピングをFig. 4に示す．Cu分布を示す輝点はPt分布と一致し，X線回折の結果と併せるとCuはPtと合金を形成していることが判る．加えてCuは担体を構成するFeの分布と一致して広く分布しており，Cuの一部はFe_2O_3担体上に酸化物として存在することも判る（XANESにCuOの特徴が検出される）．

このように合金と酸化物にCuが不均化した触媒構造はEB法に特有のものである．EB照射で還元されたCu^0は，Ptとの合金化と酸化の二つの競争プロセスを経ると考えられる．卑で酸化しやすいCu^0は，貴で容易に金属粒子化するPtに部分的に合金として取り込まれる一方，Ptに遭遇できないCu^0は酸化してしまうのであろう．この推論は，照射前に溶液中の溶存酸素を除かないとCuの担持量が著しく低下する事実からも裏付けられる．

また，PtCu合金の組成と含有量を固定し，酸化銅の含有量を増加させると，100 ℃付近の低温域でCO酸化活性が著しく向上する（Fig. 5）．この触媒の活性と構造の関係は次のように説明できる．Fig. 6に模式的に示す様に，酸化銅は助触媒として働き，PtCu合金粒子と酸化銅の接触界面が多い試料では気相からの酸素輸送が効率的で活性の向上に繋がったと考えられる[14]．さらに最近，酸化銅とPtの量を固定し，PtCu合金組成への依存性を調べたところ，Pt：Cu＝1：1の合金の活性が一番高かった．しかし，この合金組成の効果は酸化銅含有量の効果に較べて小さく，酸化銅含有量が多い場合はこの効果は有意に現れなかっ

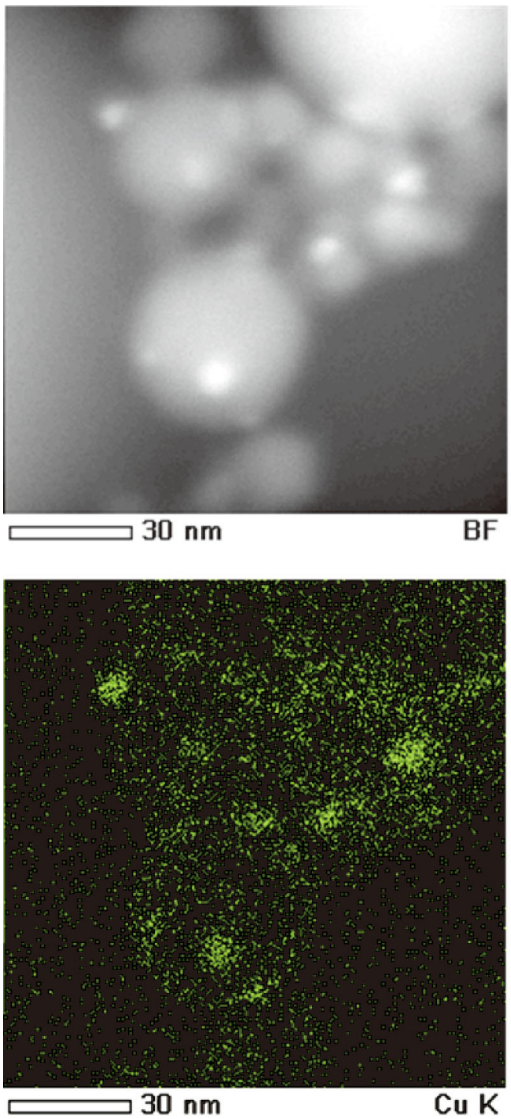

Fig. 4　STEM dark field image (top) and distribution map (bottom) of Cu in Pt10Cu90/Fe_2O_3 catalyst.

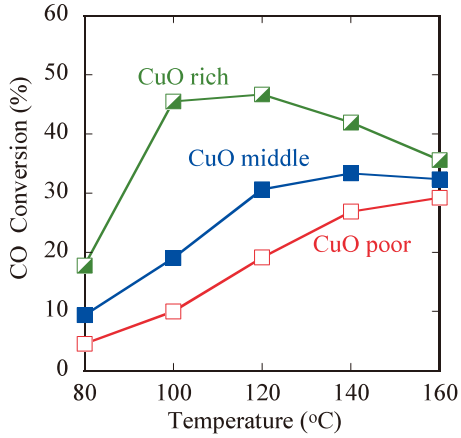

Fig. 5　CO conversions with various CuO contents in Pt-Cu/γ-Fe_2O_3 catalysts.

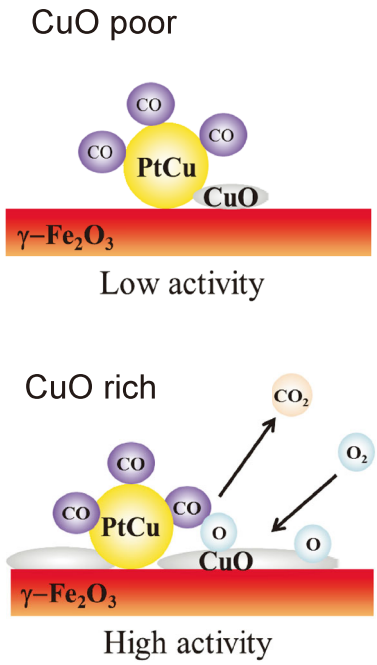

Fig. 6　Proposed catalytic reactions occurring on CuO poor (top) and CuO rich (bottom) catalysts.

た．

一方，CeO_2を担体とした触媒は，Fe_2O_3担体の場合に較べて低温でも高活性を示し，しかも高温でも選択性が維持されることが判った．本法による触媒構造の特徴である，金属（合金）・酸化銅・担体の相やそれらの接触界面の役割を分けて探る実験を行った．それらの結果によると，金属－CuO_x界面がCO酸化（特に低温での）に重要であり，酸化銅は先述のように酸素輸送を促進し，金属相の合金化は高温域での選択性の維持に重要である．これらは，組成を変えたEB試料や，Pt(Cu)-CuO粒子を無担体で合成した後で担体CeO_2と物理混合した試料，などで測定した触媒特性を比較して考察したものである．詳細は刊行報文を参照されたい[15～19]．

これらの結果は，EB法によってもたらされた新たな構造を反映しているものである．共存する貴と卑な金属イオンが強烈な還元を短時間に受けた際に，還元・合金化・逆酸化が競合する過程が途中でクエンチされた結果，不均化したPtCu合金と酸化物の二相がうまく接触した状態が創り出されたものである．

6. おわりに

ここで紹介したのは放射線化学とナノ材料科学の融合した手法を触媒応用に向けた独自の境界領域の研究である．放射線を利用することで他法ではできない特殊な構造を持ち優れた特性の触媒が創製できることが判ってきた．また，すでに国内に数カ所稼働しておりインフラ施設とも言える商業照射施設をそのまま利用できるので，1日にkgオーダーの触媒が十分に製造可能である．しかしながら，材料創製のメカニズムに多くの不明な点がまだ残されており，今後はその解明に向けた研究を推進し成果を創製プロセスと得られる機能の制御性の向上にフィードバックしたい．

本研究の遂行に必要な電子線照射にあたっては，日本電子照射サービス(株）の協力を得ました．

文　献

1) H. Fujita, M. Izawa, H. Yamazaki, *Nature*, **17**, 666 (1962)
2) S. Seino, T. Kinoshita, Y. Otome, K. Okitsu, T. Nakagawa, T. A. Yamamoto, *Chem. Lett.*, **32**, 690 (2003)
3) J. Belloni, *Catal. Today*, **113**, 141 (2006)
4) H. Nitani, T. Nakagawa, H. Daimon, Y. Kurobe, T. Ono, Y. Honda, A. Koizumi, S. Seino, T. A. Yamamoto, *Appl. Catal. A: Gen.*, **326**, 194 (2007)
5) T. A. Yamamoto, S. Kageyama, S. Seino, H. Nitani, T. Nakagawa, R. Horioka, Y. Honda, K. Ueno, H. Daimon, *Appl. Catal. A: Gen.*, **396**, 68 (2011)
6) S. Kageyama, S. Seino, T. Nakagawa, H. Nitani, K. Ueno, H. Daimon, T. A. Yamamoto, *J. Nanopart. Res.*, **13**, 5275 (2011)
7) Y. Ohkubo, S. Kageyama, S. Seino, T. Nakagawa, J. Kugai, H. Nitani, K. Ueno, T. A. Yamamoto, *J. Nanopart. Res.*, **15**, (2013) in press
8) S. Kageyama, A. Murakami, S. Ichikawa, S. Seino, T. Nakagawa, H. Daimon, Y. Ohkubo, J. Kugai, T. A. Yamamoto, *J. Mater. Res.*, **27**, 1037 (2012)
9) S. Kageyama, N. Tamon, J. Kugai, Y. Ohkubo, S. Seino, T. Nakagawa, K. Ueno, T. A. Yamamoto, *Mater. Lett.,* **82**, 33 (2012)
10) Y. Ohkubo, Y. Hamaguchi, S. Seino, T. Nakagawa, S. Kageyama, J. Kugai, H. Nitani, K. Ueno, T. A. Yamamoto, *J. Mater. Sci.*, **48**, 5047 (2013)
11) Y. Ohkubo, M. Shibata, S. Kageyama, S. Seino, T. Nakagawa, J. Kugai, H. Nitani, T. A. Yamamoto, *J. Mater. Sci.*, **48**, 2142 (2013)
12) K. Liu, A. Wang, T. Zhang, *ACS Catal.*, **2**, 1165 (2012)
13) J. Kugai, R. Kitagawa, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, H. Daimon, T. A. Yamamoto, *Appl. Catal. A: Gen.*, **406**, 43 (2011)
14) T. Moriya, J. Kugai, S. Seino, Y. Ohkubo, T. Nakagawa, H. Nitani, T. A. Yamamoto, *J. Nanopart. Res.*, **15**, (2013) in press
15) J. Kugai, T. Moriya, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, H. Daimon, T. A. Yamamoto, *Int. J. Hydrogen Energy*, **37**, 4787 (2012)
16) J. Kugai, T. Moriya, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, Y. Mizukoshi, T. A. Yamamoto, *Appl. Catal. B: Environ.*, **126**, 306 (2012)
17) J. Kugai, T. Moriya, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, T. A. Yamamoto, *Int. J. Hydrogen Energy*, **38**, 4456 (2013)
18) J. Kugai, T. Moriya, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, T. Akita, Y. Mizukoshi, T. A. Yamamoto, *Chem. Eng. J.,* **223**, 347 (2013)
19) J. Kugai, T. Moriya, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohkubo, H. Nitani, K. Ueno, T. A. Yamamoto, *J. Phys. Chem. C*, **117**, 5742 (2013)

Synthesis of Structure-controlled Nanoparticles of Noble Metals by Irradiation with Electron Beam and Application to Catalysis. Takao A. YAMAMOTO, Takashi NAKAGAWA, Satoshi SEINO, Junichiro KUGAI and Yuji OHKUBO (Graduate School of Engineering, Osaka University, 2−1 Yamadaoka, Suita 565−0871, Japan)

A new synthesis method of catalytic materials composed of metal nanoparticles deposited on ceramics or carbon support is developed, which employs a high energy electron beam as trigger of reduction of aqueous ions of metal. The irradiation induces water radiolysis generating radicals working as reducing agents. To research topics on catalysis research are shown, PtRu bimetallic particles on carbon as an anode catalyst for the direct methanol fuel cell, and PtCu bimetallic particles on Fe_2O_3 or CeO_2 as a catalyst for the preferential oxidation of CO in crude H_2 fed to the fuel cells.

Key-words: Electron beam irradiation, Radiation-induced reduction, Bimetallic nanoparticles, Electrochemical reaction, Preferential CO oxidation

山本　孝夫（やまもと　たかお）
大阪大学工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻教授（正会員）
〔最終学歴〕1981年大阪大学工学研究科原子力工学専攻博士前期課程修了．博士（工学）．〔趣味〕温泉日帰探索．〔連絡先〕〒565-0871　吹田市山田丘2-1　Tel. & Fax. 06-6879-7888　E-mail: takao@mit.mit.osaka-u.ac.jp（勤務先）

中川　　貴（なかがわ　たかし）
大阪大学工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻准教授
〔最終学歴〕1995年大阪大学工学研究科原子力工学専攻博士後期課程中退．博士（工学）．〔趣味〕スポーツ，料理．〔連絡先〕〒565-0871　吹田市山田丘2-1　Tel. & Fax. 06-6879-4454　E-mail: nakagawa@mit.mit.osaka-u.ac.jp（勤務先）

清野　智史（せいの　さとし）
大阪大学工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻准教授（正会員）
〔最終学歴〕2003年大阪大学工学研究科原子力工学専攻博士後期課程修了．博士（工学）．〔趣味〕テニス．〔連絡先〕〒565-0871　吹田市山田丘2-1　Tel. & Fax. 06-6879-7887　E-mail: seino@mit.mit.osaka-u.ac.jp（勤務先）

久貝潤一郎（くがい　じゅんいちろう）
大阪大学工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻特任助教（正会員）
〔最終学歴〕2011年ペンシルベニア州立大学エネルギー鉱物工学博士課程修了．Ph. D.〔趣味〕泳ぐこと．〔連絡先〕〒565-0871　吹田市山田丘2-1　Tel. & Fax. 06-6879-7886　Email: kugai@mit.eng.osaka-u.ac.jp（勤務先）

大久保雄司（おおくぼ　ゆうじ）
大阪大学大学院工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻日本学術振興会特別研究員
〔最終学歴〕2010年香川大学工学研究科材料創造工学専攻博士後期課程修了．博士（工学）．〔趣味〕ギター弾き語り．〔連絡先〕〒565-0871　吹田市山田丘2-1　Tel. & Fax. 06-6879-7886　E-mail: okubo@mit.mit.osaka-u.ac.jp（勤務先）

（©2013 Catalysis Society of Japan）