

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月29日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360392

研究課題名（和文） マイクロ波を用いた貴金属触媒代替触媒系の創出

研究課題名（英文） Creation of catalytic systems of the substitutes for novel metals using a microwave heating

研究代表者

和田 雄二（WADA YUJI）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：40182985

研究成果の概要（和文）：マイクロ波は狭いエネルギー分布を持つ電磁波であり、照射される物質のマイクロ波領域での吸収能の違いによって物質を選択的に加熱することができる。中でも固体と液体からなる不均一系では高いマイクロ波吸収性の固体がマイクロ波照射で選択的に加熱され、その表面は周囲の溶媒温度よりも高温になると考えられる。この高温な表面は反応場として機能することが期待できる。本研究では、ラマン分光をマイクロ波照射下 *in situ* で行い、固体表面に発生する非平衡局所加熱の直接観測に成功した。さらに、固体の選択加熱によって形成する高温の表面を化学反応場として利用し、化学反応促進効果が得られることを示した。

研究成果の概要（英文）：Microwave is an oscillating electromagnetic field and can selectively heat up substances depending on the absorptivity of the substances. Especially small particles with high absorptivity can selectively heated by MW irradiation in dispersed state, leading to higher temperature of the particles than the surrounding media. This is called “non-equilibrium local heating” and the resulting hot surface can function as an efficient reaction field. The “non-equilibrium local heating” has been successfully confirmed by *in situ* Raman observation of a dispersion liquid of metal particles under microwave irradiation. Furthermore, it has been revealed that chemical reactions are enhanced on their hot surfaces resulted from non-equilibrium local heating.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・省資源化学プロセス

キーワード：触媒・化学、表面・界面物性、省エネルギー、エネルギー効率化、マイクロ波

1. 研究開始当初の背景

非平衡加熱場を発生するマイクロ波照射：
マイクロ波加熱は合成化学実験に幅広く利用されている。オイルバスなどを用いた従来の加熱法に比較して目的化合物の収率の大幅な向上、反応時間の大幅な短縮が実現できたからである。マイクロ波加熱とは、

マイクロ波の振動電磁場(周波数 2.45 GHz、波長 12.2 cm)と誘電体物質との相互作用において、誘電体を構成している双極子、空間電荷、イオンが、激しく振動・回転することによって起こる電磁波エネルギーの熱への変換であり、その加熱機構に起因する物質の直接加熱・内部加熱という特徴が重

要である。この特殊な加熱モードにより、化学反応溶液中に巨視的には1)熱伝導および対流に無関係な均一加熱状態が達成される。一方、微視的には2)通常の温度計では測定できない微視的な高温状態“非平衡局所加熱”領域が形成され、反応を促進するという仮説が提出されていた。しかし、反応溶液内の“非平衡局所加熱”を直接観察により検証した例はなかった。化学反応速度の増大は“マイクロ波の非熱的效果”という言葉で言い換えられているだけで、実験的な証拠が提出されたことはないのが当初の状況であった。

特殊反応場としてのマイクロ波照射系：“マイクロ波特殊効果”、すなわち、従来、10時間以上かかっていた化学反応が、数分で完結するといった“反応速度の促進効果”、また、複数の反応生成物が通常加熱下では得られる反応において、特定の生成物だけが選択的に合成されるといった“反応選択性制御効果”は、合成化学者にとって興味深い情報であるが、一方、実験方法、温度測定方法に起因する“フェイク”との疑念が持たれていた。例えば、炭素-炭素結合形成反応である Suzuki-Miyaura Coupling は本来、Pd触媒が不可欠と考えられてきたが、マイクロ波を用いればPd触媒が不要であることを Leadbeater らが報告した(*Angew. Chem., Int. Ed.*, 2003, **115**, 1445)。同じ著者は、再度、反応系を詳細に検討し、反応系中に加えられた炭酸ナトリウム中に微量含まれるPdが触媒として働いたと修正した(*J. Org. Chem.*, 2005, **70**, 168)。この反応系において、数10ppb オーダーの極微量Pd存在下で通常加熱下Pd触媒添加時と同じあるいはより高速な Suzuki-Miyaura Coupling が起こったのは事実であり、マイクロ波照射下において特殊な反応場が構成されていることを示唆していた。“マイクロ波特殊効果”は、この仮称で呼ばれることがあるが、それ自体はマイクロ波照射下での化学反応の現象論の寄せ集めであり、まだ学問的裏付けはなかった。しかも、“特殊効果”に関する論文報告は、既に500報を越えていたが(ACS社、SciFinder調べ)、それらすべてが実験方法あるいは観測方法の問題等に起因する“フェイク”ではないことは、揺るぎない事実と捉えざるおえない状況であった。

2. 研究の目的

実験検証における課題：マイクロ波加熱の現象を物理化学的に理解するにあたってはいくつかの問題がある。一般に反応に用いられているのは電子レンジ型(マルチモードキャビティ)であり、キャビティ内での電界分布は予測困難である。これでは

入力する電磁エネルギーを見積もることができない。本研究では、マイクロ波を定在波として制御可能で、キャビティ内の電界分布を予測できるシングルモードキャビティを開発し、入射させたマイクロ波エネルギーと化学反応に用いられたエネルギーの関係を定量的に扱った。マイクロ波照射下で in situ ラマン分光法によりマイクロ波照射下の上記の仮説を実験的に証明し、化学合成におけるマイクロ波化学の優位性の根拠を明示することを目的とした。その時点でマイクロ波照射下での in situ 測定には、ラマン分光法以外に手法がなかったため、以下に述べるようラマン分光プローブ温度測定法の開発が重要であった。

この研究テーマ申請に至った経緯：和田らは、マイクロ波を利用したナノ粒子合成の論文(*Chem. Lett.*, 1999, 607)を発表して以来、この手法において確かに化学反応に対する特殊効果が発生することを体験してきた。例えば、Ni, Ag, Cu 金属ナノ粒子を溶液中においてそれらの前駆体から還元的に金属ナノ粒子を合成する場合、マイクロ波により反応系を均一かつ迅速に加熱すれば、ナノサイズの極めて粒径分布の狭い金属ナノ粒子が合成可能である。これは、マイクロ波照射による均一・迅速加熱モードを用いれば、金属核生成が反応溶液全体で瞬時にかつ均一に行え、その後の粒径成長もこの制御可能であることに起因する。和田らは、ラマン分光法によるマイクロ波照射下反応系の in situ 観察により実験的にナノ粒子の均一発生を証明した。すなわち、前述の「巨視的には1)熱伝導および対流に無関係な均一加熱状態」が検証できる段階になっていた。しかし、「微視的には2)通常の温度計では測定できない微視的な高温状態“非平衡局所加熱”が形成され反応を促進する」という仮説に関しては、手つかずであった。マイクロ波利用者としての合成化学者は多いが、その物理化学的解明を行える研究者のいない中で、これに挑戦する責任があると考え、以下の研究目的を設定した。

化学反応を効率よく進行させ、目的生成物のみ高選択的に得るためにPt, Pd, Ru, Rhなど貴金属を錯体触媒ないし担持金属固体触媒として用いる技術は、化学合成、化学物質製造プロセスの根幹を構成している。この貴金属触媒の代替あるいは反応の無触媒化を本申請研究は、以下が具体的ストラテジーのもとで行う。1)マイクロ波照射下での非平衡局所加熱を実験的に捉え、その温度測定を行う、2)非平衡局所加熱を制御する因子を明確化する、3)マイクロ波非平衡局所加熱による触媒反応促進効果を精査する、4)貴金属触媒代替ならびに無

触媒の化学物質合成プロセスを可能にする基盤技術として“マイクロ波駆動化学”を創出する。」

3. 研究の方法

本研究の計画は、二部から構成した。第一部では、マイクロ波照射を用いた触媒反応系の革新的アプローチを行い、第二部では、マイクロ波照射下で誘起される“非平衡局所加熱”現象の解明とその触媒反応系への影響の検証を試みた。

(1) .マイクロ波照射下における固体触媒反応の検討

マイクロ波を用いた特殊効果として、触媒反応において、触媒量を低減することができる。均一系触媒ならびに不均一系触媒の両者の反応について、マイクロ波照射下(i)触媒量と収率の相関関係、(ii)溶媒効果、(iii)マイクロ波照射パワー依存性、(iv)触媒自体の誘電損失と反応速度の相関関係、を解析する。特に、固体 Pd 触媒を用いた不均一系触媒反応においては、触媒表面が選択的に加熱されることによって起こる“非平衡局所加熱”現象を意識し、溶媒の誘電損失係数、マイクロ波照射パワー、触媒成分の担体の性質、を中心に検討する。これは、IV で述べる“非平衡局所加熱”現象の観測と総合して、マイクロ波特殊効果を理解するためである。

(2) .マイクロ波特殊効果を利用した貴金属代替触媒の開発

和田らは、水に分散した活性炭担持 Pt 触媒を用いれば、含塩素有機化合物の還元的脱塩素化反応が通常加熱に比較し、高速で進行することを実験的に証明した。不均一反応系のモデルとして、マイクロ波照射下における固体触媒を用いた脱塩素化反応における貴金属から卑金属への代替を検討する。(i) 種々の磁性粒子における粒子径・形状による比表面積・磁氣的性質とマイクロ波吸収能との相関関係、(ii) 脱ハロゲン化率とその卑金属各種の物性の相関関係を評価・蓄積することで、マイクロ波照射下、触媒界面での局所的な高温領域発現(非平衡局所加熱)によって、触媒活性向上の現象理解を得る。

(3) .化学反応速度論によるマイクロ波非熱的効果の解明

トルエン中に分散した塩化インジウムを触媒として用いたアルコール脱水反応において、マイクロ波照射による速度の促進が見られる。この反応系は、単一分子間の反応であるため、速度論的な検討をするのに適している。この反応系に対して、反応物質濃度の依存性から速度式を確定し、さらに温度依存性

からアレニウスパラメーターを決定する。通常加熱法下で同様な検討を行い、マイクロ波照射効果が“局所的な非平衡高温状態の出現によるもの”であることを反応速度論的検討において検証し、IV において行う塩化インジウム表面上の“非平衡局所加熱”現象の直接観測実験と合わせてマイクロ波特殊効果の理解に結びつける。

(4) .無機化合物粒子分散系における“非平衡局所加熱”ラマン分光 in situ 観測

金属あるいは金属酸化物粒子の溶媒分散系に対し、in situ ラマン分光プローブを用いてマイクロ波照射下、初めての“非平衡局所加熱”の証明を行う。“非平衡局所加熱”の出現頻度、密度、サイズ、温度が、照射するマイクロ波パワー密度、照射される溶液の誘電損失係数、溶液粘度、の関数であることを検証し、その成果から“非平衡局所加熱”の制御手法を確立する。

(4) -1 . In situ ラマン観察に適した電磁界制御型シングルモードキャビティーの開発

直方体導波管を用いるシングルモードキャビティーは導波管内の電磁界の共振をとることにより、定在波を発生させる。電磁波の電磁界モードは、使用周波数、導波管の大きさによって決定される。加熱に適しているのは TE₁₀₃ であり、この二つ目の電界が最大となる位置に試料を置くことによりマイクロ波加熱を行う。このとき試料の有無、試料温度の変化による誘電損失係数などの物理定数の変化により、導波管内の電界分布が変化するため、共振状態を維持するにはアイリス(結合窓)とプランジャーによる制御システムを構築する。このシステムは電界の変化によって起こる共振のずれを反射出力の増大として検知し、その信号を PC が受け取る。PC がそれに対してアイリスとプランジャーを操作することにより導波管内の共振を維持する。この装置とシステムを用いることにより、マイクロ波の電磁界内でのマイクロ波駆動有機反応を正確に調べることが可能となる。

(4) -2 .シングルモードマイクロ波照射装置で in situ ラマン分光装置の開発

ラマン分光法の利点を上記シングルモードキャビティーに組み込むことにより、マイクロ波環境下での温度と反応を in-situ で研究することが可能な装置を作製する。ラマン散乱光にはレイリー線から同じシフト値に観測できるストークス線とアンチストークス線がある。これらは同じ振動準位間での遷移を示すが、強度は異なり、その強度差は以下のように説明される。

振動 $\nu(\text{cm}^{-1})$ の調和振動子の場合、 $\nu=1$ にあ

る分子の数 N_1 は、 $v=0$ にある分子の数 N_0 に比べて少ない。その比はボルツマン分布則で示される。ストークス線とアンチストークス線の強度比は温度の関数として記述できる。したがって、これらの線の強度比を測定することによって温度がわかる。ラマン分光用の光源のスポットを μm とすることにより、サンプリングタイムを ms とすることにより、マイクロ波照射下 *in situ* で物質の局所的な温度の時間変化が測定可能である。

(4)-3. 金属あるいは金属酸化物の溶媒分散系で発生する表面近傍“非平衡局所加熱”の *in situ* 観察

マイクロ波吸収能の弱い無極性溶媒中に分散した金属粒子、金属酸化物、金属塩化物は、マイクロ波照射下で選択的に加熱される。そこでは、粒子が熱源となって周囲に熱が拡散する非平衡状態が出現しているはずであり、この現象は、溶液内不均一触媒反応におけるマイクロ波特殊効果の原因と推定している。金属粒子、金属酸化物、金属塩化物の微粒子を各種溶媒中に分散した系について、マイクロ波照射下、*in situ* 温度計測を行い、“非平衡局所加熱”の観測を行う。非平衡局所加熱の出現頻度、密度、サイズ、温度が、照射するマイクロ波パワー密度、照射される溶液の誘電損失係数、溶液粘度、の関数であることを検証し、その成果から“非平衡局所加熱”の制御手法を確立する。

(5) 均一溶液中における“非平衡局所加熱”の *in situ* 捕捉

マイクロ波の電場極大では、エネルギーの集中的注入が起こっている。従って、ここでは、特にマイクロ波吸収の強い粒子が存在しなくても、溶液内に“非平衡局所加熱”領域が生成するという仮説が提出されている。これが真実であれば、均一系化学反応のマイクロ波照射下における反応速度促進効果はこの現象によって理解できる。ここまで述べてきたラマン分光を適用し、この現象の真偽を証左する。種々の誘電損失係数を有する溶媒、損失係数の異なる二種類の溶媒の混合系、塩を溶解した溶媒系といった種々の均一系について精査する。

(6) 溶液内不均一触媒系におけるマイクロ波特殊効果の総合的理解 - 貴金属触媒の卑金属触媒代替あるいは無触媒化のためのストラトジーの提案

溶液内不均一触媒系においては、触媒界面における“非平衡局所加熱”の存在証拠を獲得し、かつこれを触媒物質ならびに溶媒系の双方の誘電損失係数とマイクロ波照射パワーにより制御する手法を確立することにより、触媒反応のマイクロ波照射による

反応速度促進作用を予測することを可能とする。

貴金属触媒を卑金属により代替する手法に関しては、卑金属でも当該反応にわずかな触媒活性があれば、それを触媒界面における“非平衡局所加熱”によって大幅に促進し、引き出す手法として体系化する。

4. 研究成果

(1) マイクロ波照射下における固体触媒反応の検討

固体触媒反応として、Fe, Co, Ni の磁性遷移金属ナノ粒子、 Fe_3O_4 ナノ粒子を還元剤とする有機ハロゲン化合物の脱塩素化反応、スルホン基固定化活性炭を用いた酸触媒反応（脱水反応、ベックマン転移）、 CrO_2 , MnO_2 を酸化剤とするアルコール脱水素反応をマイクロ波照射のもとで調べた。通常加熱と比較し、マイクロ波照射による加速効果が見られ、固体表面が反応場として関わる反応については、マイクロ波効果が現れることを実証した。また、Pd/C 固体触媒によるメタノール分解反応をマイクロ波照射下で行ったところ、通常加熱（オイルバス加熱）と同等の反応活性しか観測されず、これは、反応に関わる触媒活性点が、非平衡局所加熱される活性炭表面から距離があるため、マイクロ波加熱により発生した熱が散逸するためと理解した。

(2) マイクロ波特殊効果を利用した貴金属代替触媒の開発

有機ハロゲン化合物の脱ハロゲン化反応を Fe, Co, Ni という遷移金属を用いて進行させるマイクロ波照射反応系を開発した。また、通常 Pd 触媒を用いて進行させる Suzuki-Miyaura coupling 反応をマイクロ波照射下では、Ni ナノ粒子により置き換えることができることも示した。

(3) 化学反応速度論によるマイクロ波非熱的效果の解明

Fe, Co, Ni ナノ粒子を用いて行う有機ハロゲン化合物の脱ハロゲン化反応の速度論的検討を行い、マイクロ波照射下とオイルバス加熱下において、両者の挙動に変化はないということが明らかになった。反応機構が双方で同じという理解から、この化学反応系において観測される反応促進効果は、ナノ粒子表面上に発生した非平衡局所加熱によると推測した。

(4) 無機化合物粒子分散系における“非平衡局所加熱”ラマン分光 *in situ* 観測

「*In situ* ラマン観察に適した電磁界制御型シングルモードキャビティの開発」「シングルモードマイクロ波照射装置で *in situ* ラマン分光装置の開発」をそれぞれ関連企業との連

携により進め、マイクロ波を電場・磁場を分離照射可能なシングルモードキャビティを用意し、さらに in situ ラマンプローブをマイクロ波照射下で挿入可能とすることができた。この実験系では、直径 20 mm 程度のガラス製アンブルに無機化合物粒子を分散した溶液を入れ、マイクロ波照射下において in situ ラマン分光測定が可能である。ジメチルホルムアミド中に Co 粒子を分散し、マイクロ波照射下で in situ ラマン温度測定に成功し、ジメチルホルムアミド沸点より数 10 高い温度の発生が直接確認された。この現象は、マイクロ波により Co 粒子表面に発生した“非平衡局所加熱”点近傍のジメチルホルムアミド分子に発生した高温状態をラマン分光によって捉えたものと結論した。

(5) 均一溶液中における“非平衡局所加熱”の in situ 捕捉

均一系内における“非平衡局所加熱”状態の確認は、今回試作したラマン分光手法ではまだ捉えることはできていない。

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10件)

Masato Maitani, Keita Tanaka, Dai Mochizuki, Yuji Wada, Enhancement of Photoexcited Charge Transfer by {001} Facet-Dominating TiO₂ Nanoparticles, J. Phys. Chem. Lett., 査読有, Vol. 2011, No.2, 2011, 2655-2659

山内智央, 塚原保徳, 和田雄二, マイクロ波加熱による磁性ナノ粒子の精密構造制御, 粉体工学会誌, 査読有, Vol.48, No.9, 2011, 625-631

Dai Mochizuki, Yuji Wada, Measurements of Accurate Temperatures in the Microwave Reactors, Mini-Rev. Org. Chem., 査読有, Vol. 8, No.3, 2011, 294

Noriyo Ishimaru, Wataru Kubo, Takayuki Kitamura, Shozo Yanagida, Yasunori Tsukahara, Masato M. Maitani, Yuji Wada, Quasi-gel-state Ionic Liquid Electrolyte with Alkyl-pyrazolium Iodide for Dye-Sensitized Solar Cells, Mater. Sci. Eng., B, 査読有, Vol.176, No.13, 2011, 996-1001

T. Yamauchi, Y. Tsukahara, T. Sakata, H. Mori, T. Yanagida, T. Kawai, Y. Wada, Magnetic Cu-Ni (core-shell) nanoparticles in a one-pot reaction under microwave irradiation, Nanoscale, 査読有, Vol.2, 2010, 515-523

Y. Tsukahara, A. Higashi, T. Yamauchi, T. Nakamura, M. Yasuda, A. Baba, Y. Wada, In Situ Observation of Nonequilibrium Local

Heating as an Origin of Special Effect of Microwave on Chemistry, J. Phys. Chem. C, 査読有, Vol. 114, 2010, 8965-8970

T. Yamauchi, Y. Tsukahara, K. Yamada, T. Sakata, Y. Wada, Nucleation and Growth of Magnetic Ni-Co (Core-Shell) Nanoparticles in a One-Pot Reaction under Microwave Irradiation, Chem. Mater., 査読有, Vol. 23, 2011, 75-84

Yamauchi, T.; Tsukahara, Y.; Sakata, T.; Mori, H.; Yanagida, T.; Kawai, T.; Wada, Y. Magnetic Cu-Ni (core-shell) nanoparticles in a one-pot reaction under microwave irradiation, Nanoscale, 査読有, Vol.2, 2010, 515-523

Hasegawa, Y.; Nakamura, K.; Kawai, H.; Yasuda, N.; Tsukahara, Y.; Wada, Y. Absorption cross-section control of Eu(III) complexes for increase of amplified spontaneous emission excited by third harmonic of nanosecond Nd:YAG laser, J. Alloys Compd., 査読有, Vol.488, 2009, 578-581

Yamauchi, T.; Tsukahara, Y.; Sakamoto, T.; Kono, T.; Yasuda, M.; Baba, A.; Wada, Y. Microwave-assisted synthesis of monodisperse nickel nanoparticles using a complex of nickel formate with long-chain amine ligands, Bull. Chem. Soc. Jpn., 査読有, Vol.82, 2009, 1044-1051

[学会発表](計68件)

陳智, 王丹, 望月大, 米谷真人, 和田雄二, マイクロ波による銀銅コアシェルナノ粒子の構造制御と銅酸化に対する銀の抑制効果, 日本化学会第92春季年会, 24年3月25-28日, 神奈川

王丹, 陳智, 望月大, 米谷真人, 和田雄二, Au; Ag; Cu を成分とするナノ粒子の構造制御戦略, 日本化学会第92春季年会, 24年3月25-28日, 神奈川

今井嵩, 松井宏樹, 望月大, 米谷真人, 和田雄二, マイクロ波照射により促進される金属粒子表面における酸化還元反応, 日本化学会第92春季年会, 24年3月25-28日, 神奈川

坪池祥生, 米谷真人, 望月大, 和田雄二, コアシェル磁性ゼオライトの合成とマイクロ波反応への利用, 日本化学会第92春季年会, 24年3月25-28日, 神奈川

松井宏樹, 望月大, 米谷真人, 和田雄二, CrO₂ 及び MnO₂ を用いたアルコール酸化反応におけるマイクロ波効果, 日本化学会第92春季年会, 24年3月25-28日, 神奈川

竹腰哲人, 井上修治, 山田勝弘, 野本英朗, 樋口雅一, 河野巧, 山内智央, 塚原保徳, 川

端亮次,奥村治樹,和田雄二, マイクロ波加熱を用いたニッケルナノ粒子連続合成, 第5回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム,23年12月1日,神奈川

鯨井寛樹,望月大,米谷真人,鈴木榮一,和田雄二,藤井知,間山暢夫, マイクロ波照射下におけるPd/Cを用いた固体触媒によるメタノール分解反応, 第5回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム,23年12月1日,神奈川

塚原保徳,和田雄二,山内智央,吉野巖,石塚章斤, マイクロ波化学プロセスの産業展開, 第5回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム,23年12月1日,神奈川

望月大,設楽昌史,松井宏樹,米谷真人,和田雄二, マイクロ波照射による固液界面での反応促進,第108回触媒討論会,23年9月20-22日,北海道

長南聡,水嶋龍司,中村勝則,望月大,米谷真人,和田雄二, Milestone社製RotoSYNTHを用いた白金のアルミナへの含浸担持,日本化学会第91回春季年会,23年3月26日,神奈川

君島拓郎,望月大,米谷真人,鈴木榮一,和田雄二,間山揚郎,田島憲司,藤井知,野本英朗,樋口雅一,井上修治,竹腰哲人,河野巧, マイクロ波照射下におけるメタンからベンゼンへの触媒的転換, 日本化学会第91回春季年会,23年3月26日,神奈川

松井宏樹,望月大,米谷真人,和田雄二, スルホン酸修飾金属酸化物を用いた酸触媒反応におけるマイクロ波効果, 日本化学会第91回春季年会,23年3月26日,神奈川

Yasunori Tsukahara, Tomohisa Yamauchi, Dai Mochizuki, Yuji Wada, Preparation of metal nanoparticles under microwave irradiation, Pacificchem2010, 22年12月16日,ハワイ

望月大,滝沢翔平,王丹,和田雄二, マイクロ波加熱による多元金属ナノ粒子の合成, 日本電磁波エネルギー応用学会,22年11月18日,福岡

設楽昌史,太田創之,望月大,和田雄二, 電場・磁場分離したマイクロ波照射による選択加熱と反応促進, 日本電磁波エネルギー応用学会,22年11月18日,福岡

塚原保徳,山内智央,山田勝弘,河野巧,川端亮次,和田雄二, 磁性金属ナノ粒子の精密粒径制御, 日本電磁波エネルギー応用学会,22年11月18日,福岡

塚原保徳,山内智央,安田誠,望月大,馬場章夫,和田雄二, 金属ナノ触媒を用いた不均一反応系の構築, 日本電磁波エネルギー応用学会,22年11月18日,福岡

太田創之,長南聡,棚橋俊輝,望月大,山内

智央,塚原保徳,和田雄二, マイクロ波照射の不均一触媒有機化学反応系における反応促進効果, 日本化学会第90回春季年会, 22年3月28日

滝沢翔平,望月大,山内智央,塚原保徳,和田雄二, マイクロ波加熱モードの特徴を活かした金属ナノハイブリッド系の合成と触媒機能, 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム,21年11月19日,東京

〔図書〕(計1件)

和田雄二,望月大,シーエムシー出版,ディスプレイと照明の材料技術,2010, 41-51

〔産業財産権〕

○出願状況(計3件)

名称: マイクロ波加熱装置及びマイクロ波加熱方法

発明者: 和田雄二, 望月大, 内田博, 富田浩幸, 篠崎研二, 竹内和彦, 長畑律子, 原中正行

権利者: 国立大学法人東京工業大学, 昭和電工株式会社, 独立行政法人産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2011-244284

出願年月日: 23年1月8日

国内外の別: 国内

名称: マイクロ波加熱による金属微粒子の製造

発明者: 和田雄二, 國井勝之, 久保和重, 杉本章司

権利者: 国立大学法人東京工業大学, 四国計測工業株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2011-156690

出願年月日: 23年7月15日

国内外の別: 国内

名称: 炭化水素の製造方法

発明者: 野本英朗, 和田雄二, 望月大, 外6名

権利者: 新日鐵化学, 東京工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-53410

出願年月日: 23年3月10日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

和田 雄二 (WADA YUJI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 40182985

(2)研究分担者

望月 大 (MOCHIZUKI DAI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 90434315