

委託業務成果報告書

軟 X 線の高速偏光制御による機能性材料の探究と創製

(リアルタイム位置分解分光装置を用いた表面動的過程の追跡)

平成 22 年 5 月

学校法人 慶應義塾

様式第 20

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、学校法人慶應義塾が実施した平成21年度「軟X線の高速度偏光制御による機能性材料の探究と創製（リアルタイム位置分解分光装置を用いた表面動的過程の追跡）」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

本委託業務は、タンデム配置の可変偏光アンジュレータとキッカー電磁石を組み合わせることで、10 Hz 程度の軟X線の高速偏光スイッチング技術を開発し、ロックイン法による円二色性・線二色性シグナル検出精度の飛躍的な向上、および波長分散型の偏光依存軟X線吸収分光法と光電子顕微鏡を組み合わせたリアルタイム位置分解分光を実現することを目的とする。さらに、新たな指針に基づく新規材料の創成を目指して、スピニエレクトロニクスの基礎研究から実用までをカバーする強相関電子系、希薄磁性半導体、磁性薄膜・多層膜の磁性を解明するとともに、表面動的過程における種々のサイトでの化学種の量と構造を実時間追跡することを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、独立行政法人産業技術総合研究所、および学校法人慶応義塾で共同して業務を行う。

学校法人慶応義塾では、リアルタイム位置分解分光装置の性能評価を行うとともに、表面動的過程のリアルタイム追跡に関する業務を行う。

2. 平成21年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

①波長分散型XAFSの表面過程研究への応用

高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設の可変偏光アンジュレータビームラインにおいて、初年度に高度化された波長分散型XAFS法を用いて、固体表面における動的過程を観測し、その過程の機構に関する研究に応用する。

2.2 実施内容(成果)

2.2.1 波長分散型 XAFS 法による反応追跡法の確立

平成20年度における波長分散型 XAFS 法の高速化によって、一スペクトル当たり数十ミリ秒程度で測定できる見通しが立った。本年度は、まず、このような高速測定とデータ解析をルーチンで行うことができるようにし、実際の表面反応過程を追跡することに応用できるようにした。

具体的に行ったのは、①画像データの取り込みおよびその記録の仕方の最適化、②記録された Auger 電子収量スペクトルから NEXAFS スペクトルを得るまでの自動化、③スペクトルのカーブフィッティングによるピーク成分の抽出の自動化、である。以下に各項目について説明する。

①画像データの取り込みおよびその記録の仕方の最適化

本手法は、あるエネルギー幅の XAFS スペクトルを、Auger 電子の位置依存スペクトルの一括測定によって得るもので、横軸が位置、縦軸が電子運動エネルギーに対応する2次元電子像として生データは得られる。従来は、電子像を一つ一つハードディスクに記録していたが、この記録時間が比較的長いため、高速化を妨げていた。そのため、電子像の記録を止め、電子像の縦軸方向（運動エネルギー方向）に電子数を積分した Auger 電子収量スペクトルを PC のメモリーに格納することにした（図1）。

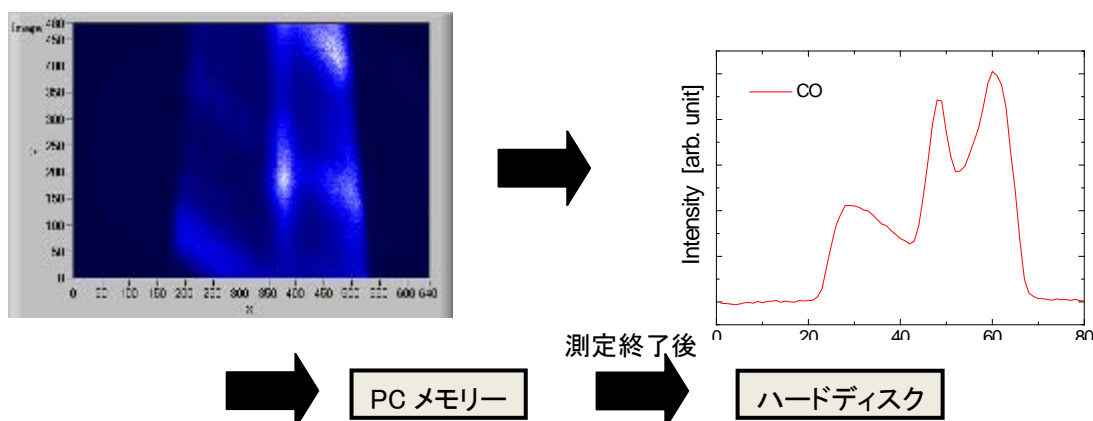


図1：データの記録方法：2次元電子像から得た Auger 電子収量スペクトルを PC のメモリーに格納。測定終了後に一括してハードディスクに記録。

一連の測定が終了するまでメモリーにスペクトルの格納を続け、測定終了後、すべてのスペクトルを一括してハードディスクに記録することにした。これによって、一つのスペクトルの記録に要する時間は、積分計算とメモリー格納に要する時間が無視できるほど短いため、ビデオレート(33 ミリ秒)で1枚の画像が測定される時間のみになった。

②記録された Auger 電子収量スペクトルから NEXAFS スペクトルを得るまでの自動化

一連の測定が終了すると、数万本の Auger 電子収量スペクトルからなるデータセットが得られる。電子像を記録する2次元検出器として用いている MCP は場所による感度むらがある。また、試料に照射される波長分散光の強度も場所による強度分布がある。これらの効果を除いた NEXAFS スペクトルを得るために清浄表面のスペクトルを測定し、それで割算をして規格化すると、図2右のように規格化された NEXAFS スペクトルが得られる。

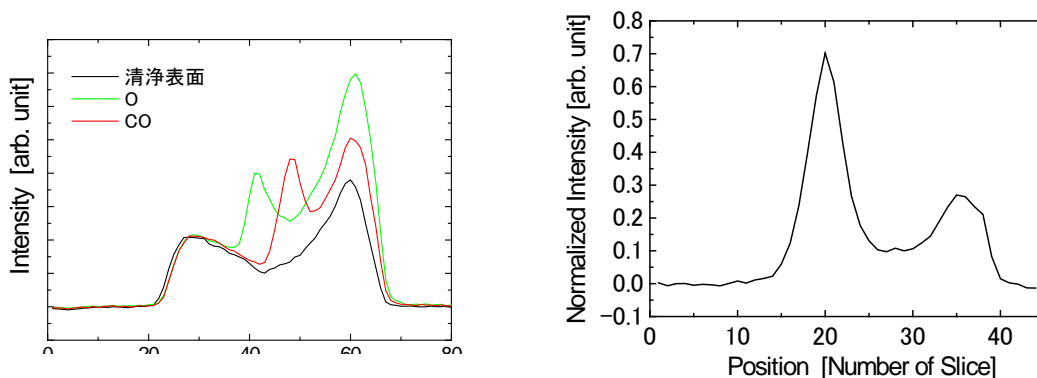


図2 : 左 : 吸着種が有るときと無いとき (清浄表面) の Auger 電子収量スペクトル. 右 : 清浄表面のスペクトルで割算して規格化した O の NEXAFS スペクトル.

このような規格化をすべてのスペクトルに対して行って並べると、図3のような NEXAFS スペクトルの時間変化を得ることができる。これを、測定終了後、PC で直ちに行えるようにした。

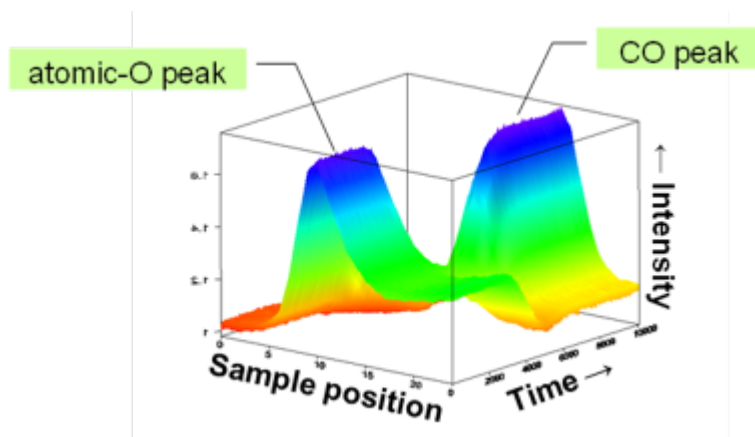


図3 : 約6分間で測定した1万本あまりの NEXAFS スペクトルの時間変化

③NEXAFS スペクトルのカーブフィッティングによるピーク成分の抽出の自動化

NEXAFS スペクトルの時間変化が得られると、次に行うべきことは、カーブフィッティングによるスペクトル成分ごとの時間変化を調べることである。一つのスペクトルのカーブフィッティングには、標準スペクトルにファクターを掛けて線形加算することで得られる合成スペクトルの最小自乗フィットを行う（図4参照）。

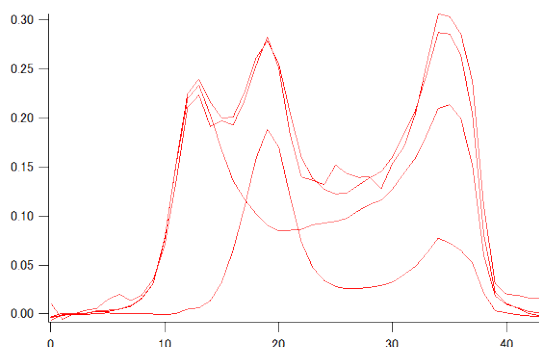


図4：NEXAFS スペクトルに対するカーブフィッティングの一例。

これを1万本以上のスペクトルに対して自動で行い、得られたファクターを被覆率に換算してプロットすると、図5のような反応追跡による被覆率の時間変化が得られる。ここまでの、実験を進めている現場でほぼ自動で行えるようにし、次の反応追跡に結果をフィードバックしながら実験を進められるようになった。

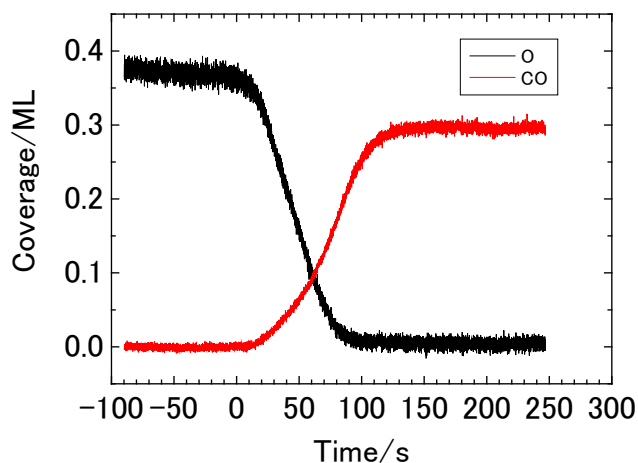


図5：NEXAFS スペクトルのカーブフィッティングによって得られた二つのスペクトル。この結果に対して速度論的解析を行うことによって、反応速度、速度定数、反応次数が得られ、成分の被覆率の時間変化。

2. 2. 2 白金表面における一酸化炭素の酸化反応の追跡

自動車の排ガス触媒として知られている白金の表面における一酸化炭素の無害化反応、すなわち二酸化炭素への酸化反応は最もよく研究された触媒反応の一つであり、古くは Langmuir によって分子論に基づく反応機構の研究が初めて行われ、以来、様々なアプローチによって反応機構の提案が行われたが、1980 年には、Ertl らによって吸着種どうしが反応するタイプ(Langmuir-Hinshelwood 型)の反応であることが明らかにされた¹⁾。その後も、素過程に対する計算やいろいろな反応条件で活性化エネルギーが求められたが、報告されている値が大きくばらついており、どれが本当なのか、ばらつく原因が何なのかという点は今後の課題となっていた。特に、実験的研究の多くは、気相の二酸化炭素の圧力をモニターして反応速度を調べる方法をとっており、反応解析に必要な表面種の情報を直接引き出していない点が問題になっていた。本研究では、我々が開発した手法が表面種の変化を直接追跡できる利点を活かし、表面種の直接観測を通じた反応解析を行い、活性化エネルギーの評価と反応機構に関する知見を得ることを目的にして研究を行った。

白金の単結晶基板 Pt(111)をモデル触媒とし、原子状酸素を前吸着させた触媒表面に一酸化炭素ガスを導入して、二酸化炭素に変換される表面を波長分散型 O-K 吸収端 NEXAFS によってビデオレート(33 ミリ秒で1 スペクトルの測定速度)にて追跡した。二酸化炭素は生成後直ちに脱離するので、O-K NEXAFS には吸着した原子状酸素(O)と一酸化炭素(CO)が観測される。O の被覆率の減少から反応速度が分かり、反応種の実測の被覆率から、反応速度解析を行った。

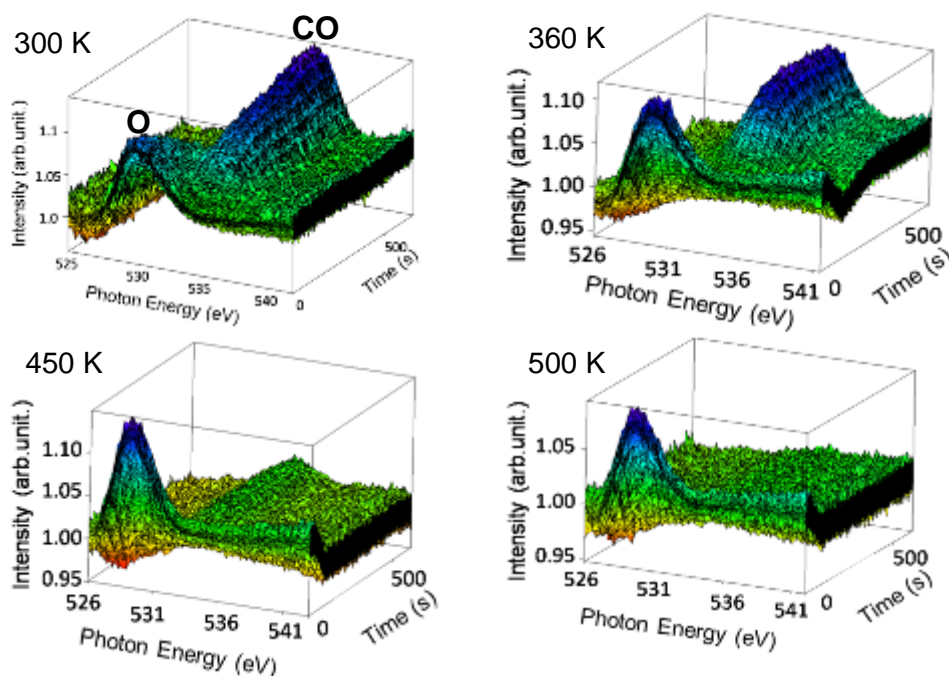


図6 : 各温度における Pt(111)上の CO 酸化反応進行下の O-K NEXAFS スペクトルの時間変化の
 図6に Pt(111)に O を前吸着させ、幾つかの温度で CO を 1×10^{-6} Torr 導入したときの O-K NEXAFS の時間変化を示す。CO 導入に伴って、最初に表面に存在した O が CO

酸化反応によって消費されて減少していく様子が見える。温度が高くなるにつれて、Oの消費速度、すなわち反応速度が速くなるとともに、COの飽和被覆率が低下する。500 KではほとんどCOのピークが見えない。500 KはすでにCOの脱離温度を超えており、安定な吸着状態をとれないからである。

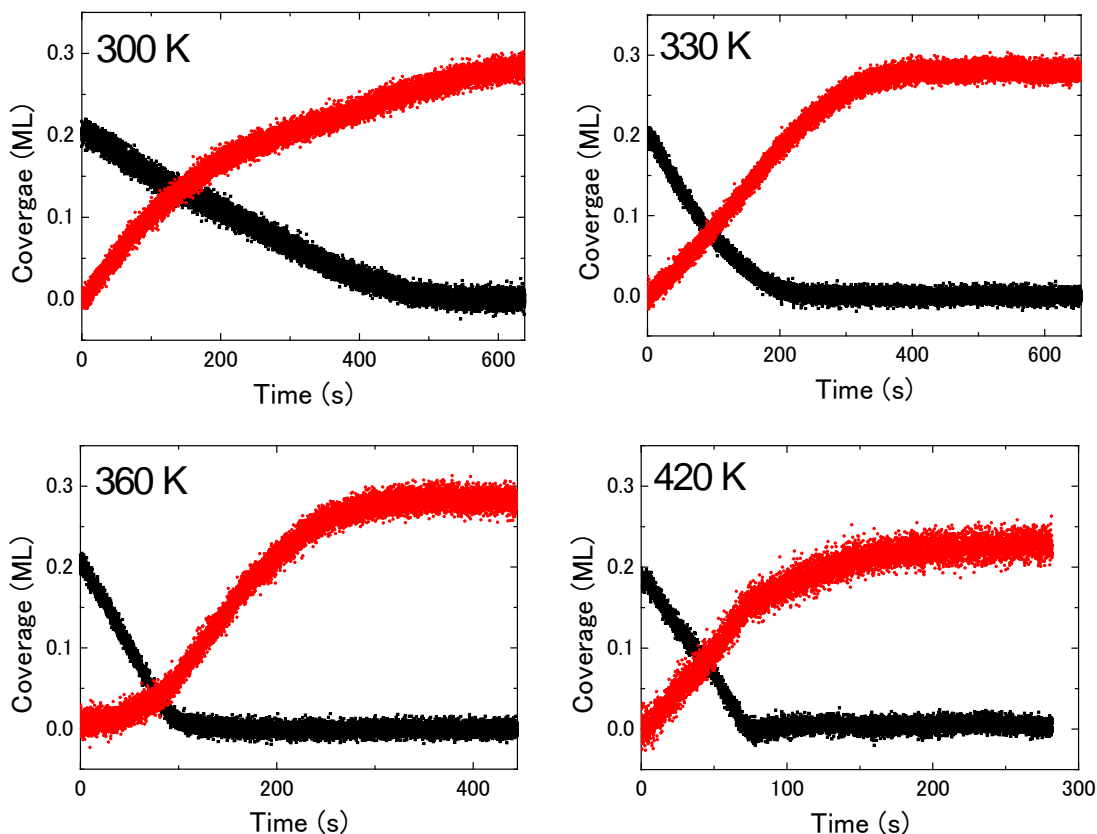


図7：各温度における Pt(111)上の CO 酸化反応進行下の O と CO の被覆率の時間変化。

各温度での NEXAFS スペクトルに対してカーブフィッティングすることによって、O と CO の被覆率の時間変化を調べたものを図7に示す。O の減少速度が温度の上昇とともに速くなっていることが分かる。O の被覆率の微分から反応速度を求め、それが O と CO の被覆率に対してそれぞれ1次で比例すると仮定して解析を行った。すなわち、下記の式に基づいて、速度定数を求めた。

$$v = k \cdot [\theta_O] \cdot [\theta_{CO}] \quad (1)$$

$$k = \frac{v}{[\theta_O] \cdot [\theta_{CO}]} \quad (2)$$

(1)式のように反応速度が O と CO の被覆率に1次ならば、(2)式のように速度を O と CO の被覆率で割ったものは一定値になるはずである。実際、(2)式に従って求めた速度

定数 k は図 8 に示すように、広い時間領域で一定値を示した。この一定値を速度定数とした。

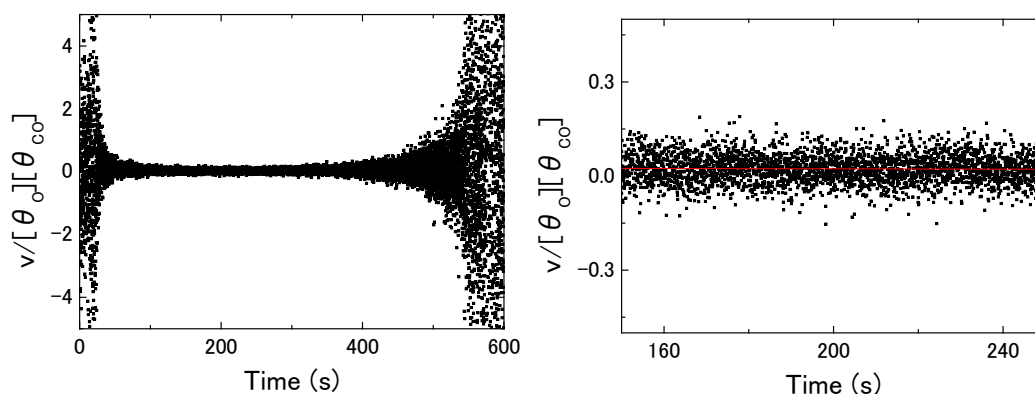


図 8 : 300 K における Pt(111) 上の CO 酸化反応の反応速度解析。速度定数は $k = 0.028 \pm 0.005$ と見積もられた。

このようにして各温度で求めた速度定数をプロットしたものが図 9 である。グラフから明らかなように 360 K までは温度の上昇とともに速度定数が増加するが、360 K 以上では逆に低下していくことが分かる。360 K 以下の温度領域では通常温度依存性を示しており、(1) で表されるような O と CO の被覆率のそれぞれの 1 次反応として理解されるが、360 K 以上では、みかけの活性化エネルギーが負になるため、さらに別な因子が反応速度に関わっていることを示している。

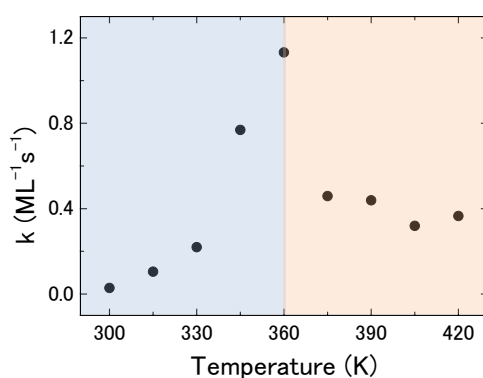


図 9 : Pt(111) 上の CO 酸化反応の速度定数の温度依存性. 360 K を境にして挙動が大きく変わる。

ここで関わってくるのは、CO の吸着・脱離過程と推測される。CO の脱離がほとんど無視できる 360 K 以下の温度領域では、通常温度依存性を示すが、脱離が始まる 360 K 以上では CO の脱離を考慮した速度式を用いる必要がある。まず、表面吸着種の被覆率のみで速度式が記述できる 360 K での速度定数のアレニウスプロットをとってみると、図 10 のようになる。傾きと切片から、活性化エネルギーが 0.58 ± 0.04 eV、前指数因子が $10^{8.3 \pm 0.6} \text{ML}^{-1} \text{S}^{-1}$ と求められた。活性化エネルギーはこれ

まで気相種の分圧の測定に基づいて報告されている活性化エネルギーの値 $0.4\sim 1\text{ eV}$ の範囲に入っている。前指数因子については、表面種の被覆率の測定に基づいて測定したものになるので、過去の研究による値との直接の比較が難しいが、次の節で報告する Ir(111)における CO 酸化反応の対応する前指数因子と比較すると、約 5 桁も大きいことが分かった。

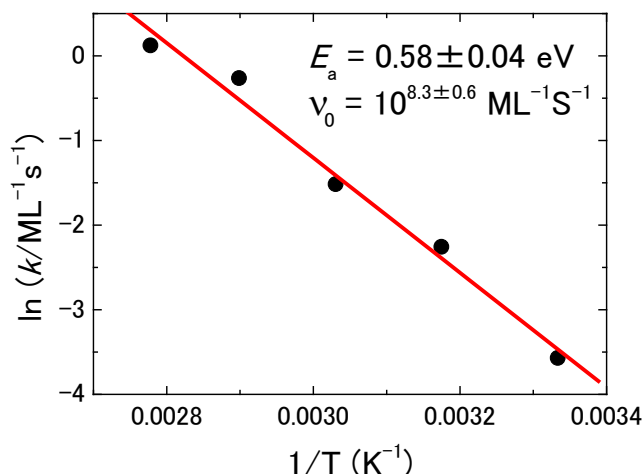


図 10 : 300-360 K における Pt(111)上の CO 酸化反応の速度定数のアレニウスプロット

一方、360 K 以上では、温度依存性が通常と逆であるためみかけの活性化エネルギーが負の値を示すが、これは、この温度領域で観測している反応は O と CO の被覆率の単純な 1 次過程ではないことを示唆している。このようなみかけの活性化エネルギーが負になる場合の一つの解釈として、気相の CO の吸着・脱離過程が関わる過程が考えられる。Pt(111)に吸着した CO は、高被覆率では 350 K 程度から脱離が起り始めることが知られており²⁾、360 K 以上では、原子状酸素が高被覆率で吸着した表面に CO が吸着した場合、脱離過程が無視できなくなり、十分に高い温度では、気相 CO と表面 CO の間に吸着・脱離平衡が成り立つことが推測される。その場合、表面 CO の被覆率は気相 CO の圧力に依存することになり、反応速度が圧力に依存する。実際、420 K では明確な圧力依存性が観測されている。ところが実際に圧力が異なるときの反応中の O と CO の被覆率変化を見ると、この解釈ではうまく説明できないことに気づく。図 11 に、O を前吸着した表面に $1\times 10^{-8}\text{ Torr}$ と $5\times 10^{-8}\text{ Torr}$ の CO を導入したときの被覆率の変化を示す。O の被覆率の減少が明らかに高い圧力の CO を導入したときの方が速くなっている。上記のモデルであれば、この反応速度の増加は、気相 CO の圧力の増加による表面 CO の被覆率の増加によることになるので、反応進行下の CO の被覆率は増加するはずである。ところが、図 11 の CO の被覆率

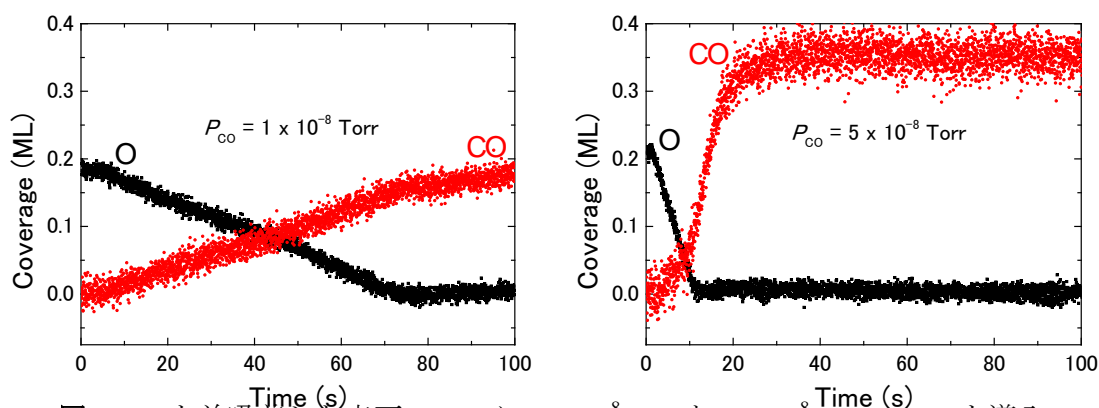


図 11. O を前吸着した表面(420 K)に 1×10^{-8} Torr と 5×10^{-8} Torr の CO を導入したときの被覆率の変化.

を見ると、CO 圧が高い方が CO 被覆率が低く、全く反対の傾向を示している。このことは、単に温度が上昇することによる反応種の減少が起こっているわけではないことを示している。飛来する気相 CO 種が関与する反応前駆体が反応に寄与している可能性もあり、それをつきとめるのは今後の課題である。

2. 2. 3 イリジウム表面における一酸化炭素の酸化反応の追跡

イリジウムは酸素共存下での NOx 還元反応の活性が高いことが知られており³⁻⁵⁾、不完全燃焼の度合いが高いディーゼルエンジンの排ガスの触媒として期待されている。NOx 還元反応で生じる酸素を除くために還元剤が必要であるが、排ガス触媒の場合、図 12 に示すように排ガス中の CO を用いることができる。すなわち、NO 還元で生じた酸素を CO の酸化反応で除去できれば、CO の無害化も併せて行うことができる。CO 酸化反応が効率よく進むことが NOx 還元反応においても重要である。そこで、イリジウムの上でどのように CO 酸化反応が進むのかを明らかにし、白金上での CO 酸化反応と比較することを目的にして、波長分散 XAFS 法を用いた反応追跡を行った。

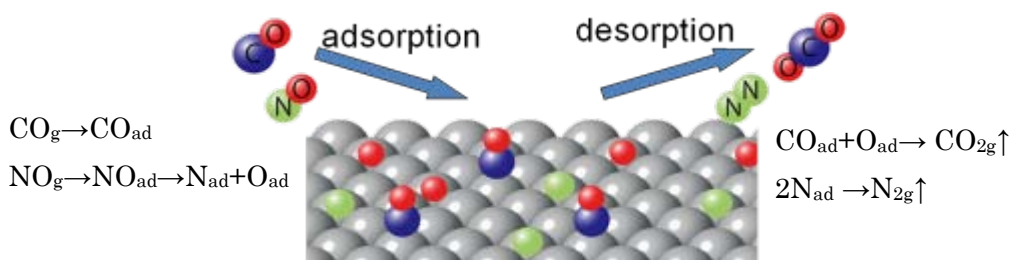


図 12 : CO 酸化反応による NO 還元の様式図と反応スキーム.

実験は白金の場合と同様に、イリジウムの単結晶基板 Ir(111)をモデル触媒とし、原子状酸素を前吸着させた触媒表面に一酸化炭素ガスをパルスバルブによって導入した。このとき、二酸化炭素に変換される表面を波長分散型 O-K 吸収端 NEXAFS によってビデオレートにて追跡した。O-K NEXAFS には吸着した原子状酸素(O)と一酸化炭素(CO)が観測され、O の被覆率の減少から反応速度を求め、反応次数や速度定数、前指数因子、活性化エネルギーなどの値を求めるのに用いた。

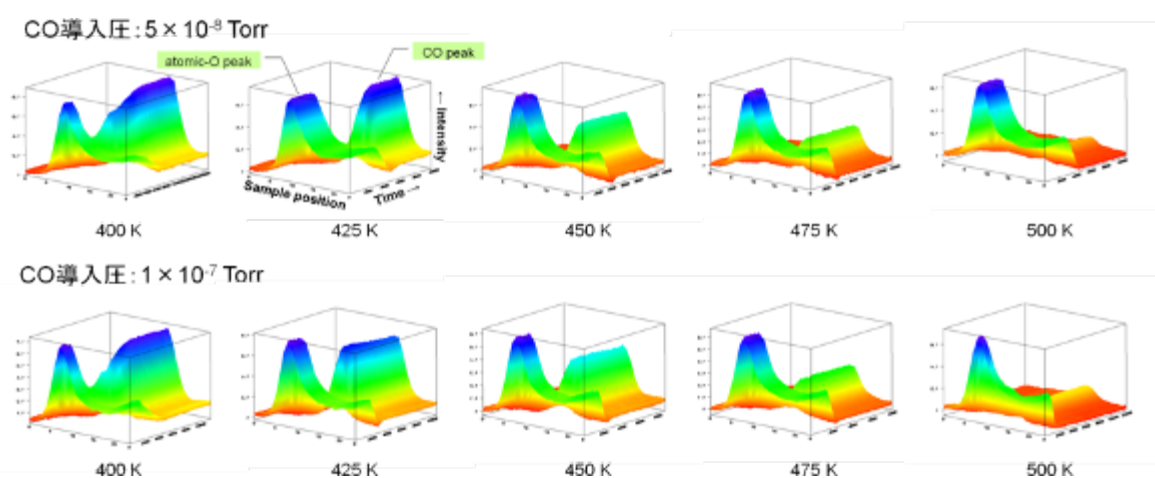


図 13: 各温度における Ir(111)上の CO 酸化反応進行下の O-K NEXAFS スペクトルの時間変化。

図 13 に CO の導入圧を変えたり、基板の温度を変えたりしながら、Ir(111)上での CO 酸化反応を追跡した結果を示す。ここでは CO 導入圧は 5×10^{-8} Torr, と 1×10^{-7} Torr の 2 通りで行い、温度は 400 K から 500 K まで変化させた。どちらの圧力でも、温度を上げるにつれて反応速度が上昇していることや、表面の CO が気相の CO と平衡に達したときの被覆率は、温度が高くなるに連れて低くなるのが分かる。また、圧力を高くした場合には、CO の吸着速度が上昇するとともに、高温では時間が経過して CO のみになったときの最終的な平衡被覆率が高くなる事が確認できる。

このようにして得られた NEXAFS スペクトルをカーブフィットして、O と CO の被覆率の時間変化を求めた結果が図 14 である。これを見ると、CO 酸化反応によって消費される O の減少速度は温度の上昇によって僅かしか増大しないことがわかる。また、温度が高いほど、最終的な CO の平衡状態での被覆率は低下することが見てとれる。これらの結果をより定量的に議論するために、Pt(111)の場合と同様な解析を行った。すなわち、反応速度が O と CO 被覆率のそれぞれの 1 次比例することを仮定して、(2)式によって速度定数を求めて時間に対してプロットした結果を図 15 に示す。これを見ると、反応進

行過程の中間的な時間領域（50～70 秒）では速度定数が一定値になっており、反応速度が O と CO 被覆率のそれぞれの 1 次に比例しているとみなしてよいことを示している。

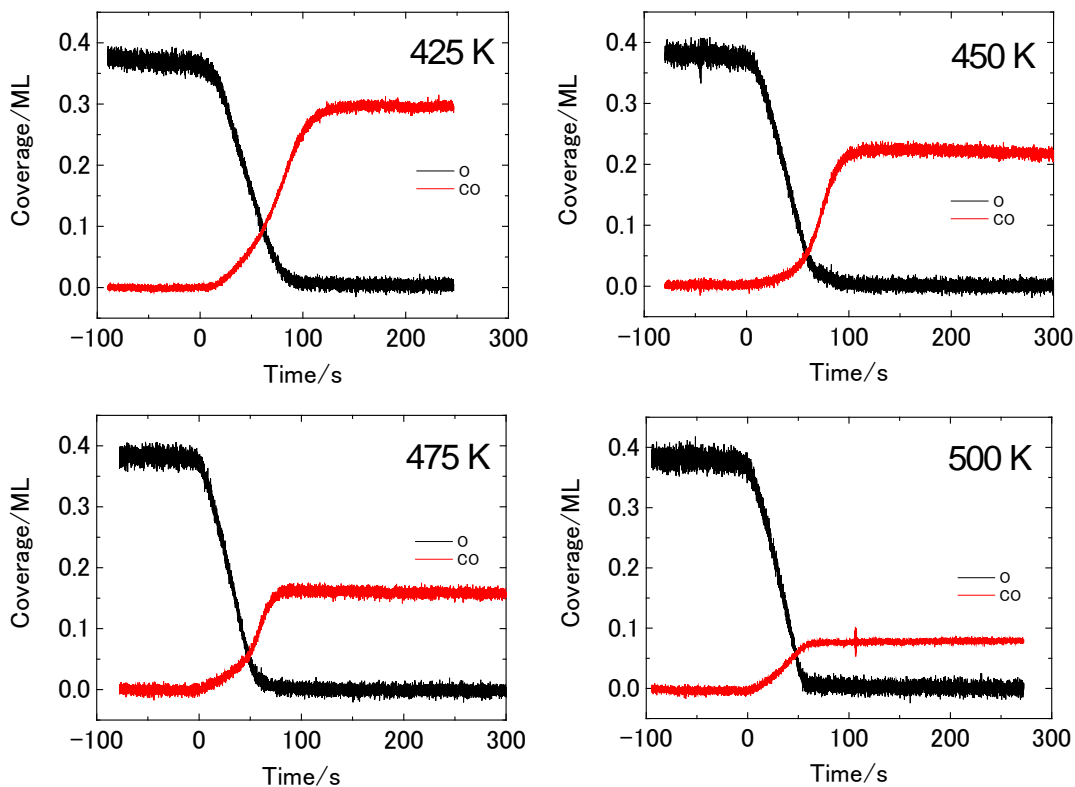


図 14 : CO 圧が 5×10^{-8} Torr のときの各温度における Ir(111) 上の CO 酸化反応進行下の O と CO の被覆率の時間変化。

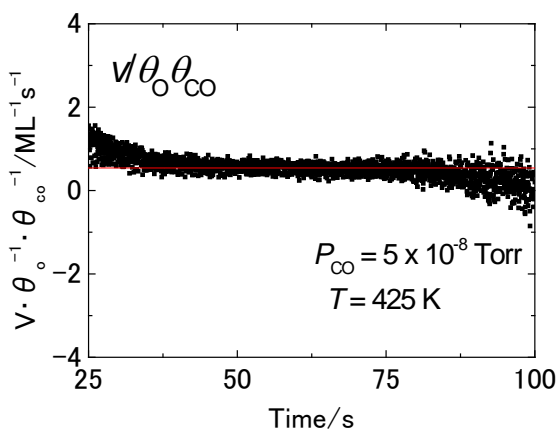
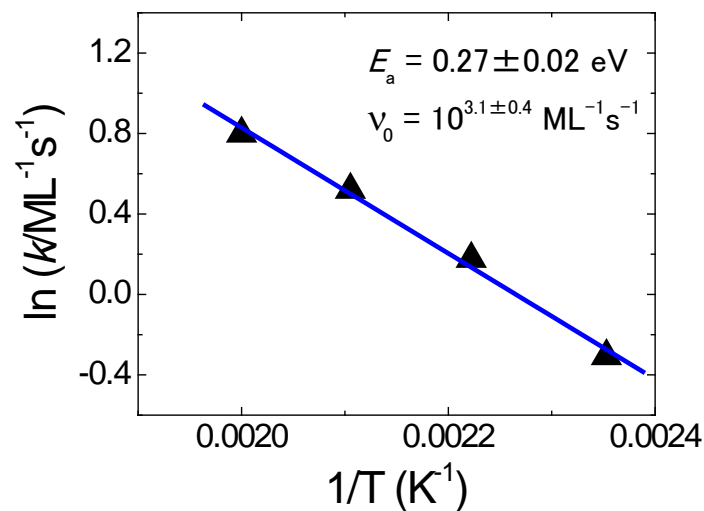


図 15 : CO 圧 : 5×10^{-8} Torr、温度 : 425 K における Ir(111) 上の CO 酸化反応における $v/\theta_{\text{O}}\theta_{\text{CO}}$ のプロット。

このような 1 次反応を仮定したときの速度定数を各温度に対して求めてアレニウスプロットをとった結果が図 16 である。傾きから得られる活性化エネルギーは 0.27 ± 0.02 eV、切片からは前指数因子が $10^{3.1 \pm 0.4} \text{ ML}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と求められた。Pt(111)に比べて活性化エネルギーは半分程度であるが、前指数因子が約 5 桁程度低いことが分かった。



2. 2. 3 白金とイリジウムの表面における一酸化炭素の酸化反応の比較

Pt(111)と Ir(111)の CO 酸化反応のアレニウスプロットを比較してみると図 17 のようになる。Pt(111)は 300-360 K の比較的低い温度領域のデータであるのに対し、Ir(111)

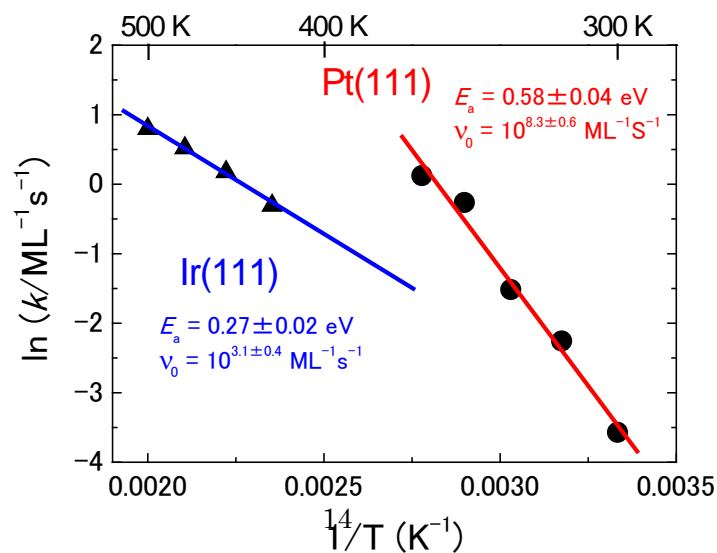


図 17 : 425-500 K における Ir(111)上の CO 酸化反応の速度定数のアレニウスプロット

は 425-500 K と少し高めの温度領域のデータで、異なる温度領域でのデータであるが、互いの直線を外挿してみると、全体として、室温以上であれば、Pt(111)の方が活性が高いことがわかる。たとえば、400 K における速度定数を上記のアレニウスプロットから求めると、下の表のようになり、Pt(111)の方が 10 倍以上速いことがわかる。その差は温度が高くなるにつれて開いていく。Pt(111)の方が活性化エネルギーが大きいためである。Ir(111)の方が速くなるのは室温以下の低温の場合になる。

表：Pt(111)と Ir(111)の上での CO 酸化反応の実験から得られた速度論的パラメーター

	$v_0/\text{ML}^{-1}\text{s}^{-1}$	E_a/eV	$k_{400}/\text{ML}^{-1}\text{s}^{-1}$
Ir(111)	$10^{3.1\pm 0.4}$	0.27 ± 0.02	0.78
Pt(111)	$10^{8.3\pm 0.6}$	0.58 ± 0.04	10.1

もうひとつの違いの特徴は、前にも書いたとおり、前指数因子が Pt(111)の方が 5 桁も大きいことである。前指数因子は反応素過程における始状態と遷移状態のエントロピーの差に依存するので、Pt(111)の方が、このエントロピーの差が大きいことになる。分子動力学法による Pt(111)上の CO 酸化反応の素過程の計算⁶⁾では、始状態は fcc-hollow サイトを占める O と隣の atop サイトの CO の配置であり、遷移状態は O も CO も bridge サイトに移動した配置とされている (図 18 参照)。

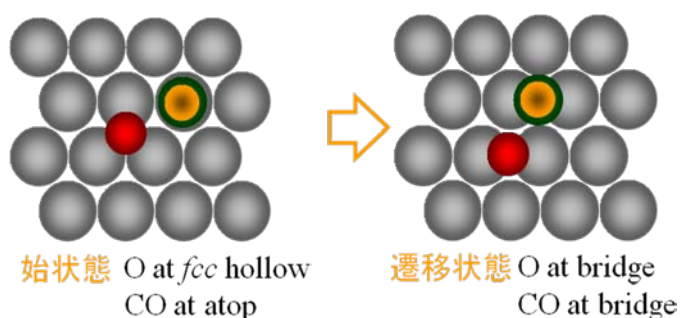


図 18：分子動力学法による Pt(111)上の CO 酸化反応の素過程における吸着配置⁶⁾。

これらの配置で注意したいのは、O と CO の間の吸着種間相互作用がどのような点である。これまで、密度汎関数法によって Pt(111)における O と CO の種々の配置における吸着種間相互作用が求められている⁷⁾。それによると、O と CO の間の相互作用は基本的には反発相互作用であるが、例外的に図 18 の始状態のような配置であると、相互作用がほとんどゼロになることが見出されている。これ

は、Pd や Rh など他の白金族の金属では見られないことであり、白金特有の現象である。反応の始状態の配置に反発相互作用がなければ、拡散によってこの配置をとり易い。また、反発相互作用がなければ、この配置での O と CO の吸着ポテンシャルが深くなり、振動準位の分裂が大きくなるので、振動エントロピーが低くなる。一方、遷移状態では反発相互作用が働くので、ポテンシャルが浅くなって自由度が増すので、振動エントロピーは高くなる。これらのことから、Pt(111)の上では、始状態配置を取りやすく、始状態と遷移状態のエントロピー差が大きいことによって、結果として前指数因子が大きくなるのではないかと推測される。Ir(111)については対応する計算結果が無いが、O および CO はそれぞれ Pt(111)と同様なサイトを占めるとされており、似たような反応素過程をとる可能性がある。その際に、白金と異なるのは吸着種間相互作用であり、ほぼすべての配置で反発的であると推測している。実際に計算を行って確認することは今後の重要な課題である。

2. 2. 4. まとめ

高度化された波長分散 XAFS 法を用いて、固体表面における動的過程を追跡し、その機構を解析する研究を行った。具体的には、Pt(111)および Ir(111)単結晶基板上での CO 酸化反応を、実用的な触媒の作動温度領域に近い温度領域において追跡し、その速度論的解析を行った。表面種の直接観測に基づいて CO 酸化反応の速度定数、活性化エネルギー、前指数因子を求めたところ、Pt(111)と Ir(111)で前指数因子に顕著な違いを見出した。この違いは両金属表面における吸着種間相互作用の違いに起因する可能性がある。

参考文献

- 1) C. T. Campbell, G. Ertl, H. Kuipers, and J. Segner, *J. Chem. Phys.* **73**, 5862 (1980).
- 2) G. Ertl, M. Neumann, K. M. Streit, *Surf. Sci.* **64**, 393 (1977).
- 3) M. Shimokawabe, N. Umeda, *Chem. Lett.* **33**, 534 (2004).
- 4) T. Yoshinari, K. Sato, M. Haneda, Y. Kintaichi, H. Hamada, *Appl. Catal. B* **41**, 157 (2003).
- 5) M. Haneda, Pusparatu, Y. Kikuchi, I. Nakamura, M. Sasaki, T. Fujitani, H. Hamada, *J. Catal.* **229**, 197 (2005).
- 6) A. Alavi, P. Hu, T. Deutsch, P. L. Silvestrelli, J. Hutter, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 3650 (1998).
- 7) M. Nagasaka, H. Kondoh, I. Nakai and T. Ohta, *J. Chem. Phys.* **126**, 044704 (2007).

2.3 成果の外部への発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
Real-Time Monitoring of Surface Chemical Reaction with Synchrotron-Based Surface Spectroscopy（口頭）	近藤 寛	4th International Symposium on Advanced Materials; Surfaces	平成 21 年 6 月	国外
Dispersive-NEXAFS as a tool to study surface chemical reactions（ポスター）	近藤 寛、阿部 仁、雨宮健太、中井郁代、太田俊明	14th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure	平成 21 年 7 月	国外
dispersive NEXAFS 法を用いた Pt(111) 上の CO 酸化反応の研究（口頭）	小宇佐友香、阿部 仁、原田大雅、仲家幸一郎、中本秀一、隅井良平、雨宮健太、近藤 寛	第 12 回 XAFS 討論会	平成 21 年 9 月	国内
dispersive NEXAFS 法を用いた室温以上での Pt(111) 上の CO 酸化反応の研究（ポスター）	小宇佐友香、阿部 仁、原田大雅、仲家幸一郎、中本秀一、隅井良平、雨宮健太、近藤 寛	物構研シンポジウム'09	平成 21 年 10 月	国内
波長分散型 NEXAFS 法を用いた Pt(111) での CO 酸化反応（ポスター）	小宇佐友香、阿部 仁、原田大雅、仲家幸一郎、中本秀一、隅井良平、雨宮健太、近藤 寛	第 27 回 P F シンポジウム	平成 22 年 2 月	国内
dispersive-NEXAFS を利用した Ir(111) 表面上における CO-NO 反応の研究（ポスター）	中本秀一、阿部 仁、小宇佐友香、原田大雅、隅井 良平、雨宮健太、近藤 寛	第 27 回 P F シンポジウム	平成 22 年 2 月	国内
軟 X 線 dispersive-NEXAFS 法で観る表面化学反応（口頭）	近藤 寛	第 27 回 P F シンポジウム	平成 22 年 2 月	国内
波長分散型 NEXAFS 法を用いた Pt(111) 上の CO 酸化反応の研究（口頭）	小宇佐友香、阿部 仁、原田大雅、仲家幸一郎、中本秀一、隅井良平、雨宮健太、近藤 寛	日本化学会第 90 春季年会	平成 22 年 3 月	国内

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
アンジュレーター光による dispersive NEXAFS 法の高度化	小宇佐友香、近藤 寛	PHOTON FACTORY NEWS	平成 21 年 11 月	国内

2.4 活動

なし

2.5 実施体制

別表 1 のとおり

別表 1 平成 21 年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. リアルタイム位置分解分光装置を用いた表面動的過程の追跡 (1) 波長分散型 XAFS の表面過程研究への応用	慶應義塾大学 理工学部 慶應義塾大学 理工学部 慶應義塾大学大学院理工学研究科 慶應義塾大学大学院理工学研究科	◎○近藤 寛 阿部 仁 小宇佐 友香 原田 大雅