

カソード電解によって誘起されたPdの析出元素の同位体異常

水野 忠彦*, 大森 唯義†, 黒川 一哉, 秋本 正, 北市 雅敏,
猪田 耕市, 安住 和久, 下川 繁三, 延與三知夫††

Anomalous Isotopic Distribution of Elements Deposited on Palladium Induced by Cathodic Electrolysis

Tadahiko MIZUNO*, Tadayoshi OHMORI†, Kazuya KUROKAWA, Tadashi AKIMOTO,
Masatoshi KITAICHI, Koichi INODA, Kazuhisa AZUMI, Shigezo SHIMOKAWA
and Michio ENYO††

Received March 4, 1996; Accepted July 31, 1996

It was confirmed by several analytic methods that reaction products with atomic number ranging from 20 to 28, 46 to 54, and 72 to 82 are detected in palladium cathodes subjected to electrolysis in a heavy water solution at high pressure, high temperature and by high current density for one month. Isotopic distributions were radically different from the natural ones.

1 緒言

ある種の核反応が電気化学的な操作によって引き起こされたという報告が1989年になされて以来、今日まで数多くの、その実験を確認するための測定が行われてきた。特にそれは過剰な熱発生に関して多くの関心が集まっていた。しかし、そのような事実があるということを十分に納得するためには、実験の再現性や、制御性の困難さ、さらには機構がまったくわかっていないなどの理由から、極めて不十分で広く一般に納得されえない現象とみなされてきた。

現在最も必要なことは、核反応によって生じたとされる特異的な現象と反応生成物との間に正確で定量的な関係があるか否かということであろう。従来からよく知られているように、このような核反応が起こっているならば、放射性物質や放射線の発生を明確に示せることが必要といわれている。これは今までのよく知られた理解にしたがう核反応が生じていると仮定できた場合でのことである。

もし反応の機構がまったく異なっているのであれば、放射性物質や放射線の発生をそのままとらえる事ができるか否かを判定すること自身が難しくなると思われる。

この報告では、特に電気化学反応により析出した各種の元素の同位体分布に着目して行った結果を報告する。そうしてこれが従来によく知られた核反応の生成過程とは明らかに異なる現象であることを示す。ここでは放射線の発生も放射性物質もほとんど検知できない機構で生成物が得られている。もし何らかの核反応が起こっているのであれば、この実験結果をなんらかの核反応が生じたたと仮定し、従来の理論の枠組みで説明可能かどうかを考察する。

2 実験

電解用パラジウムの棒は田中貴金属製純Pd 99.97% min (10mm φ, 100mm length)を使用した。その分析は次のとおりである。[B:110 (ppm), Fe:20, Si:10, Ca:9, Cr:10, Cu:6, Ti:5, Mo:5, Ag:44, Mg:1, Sn:1, Pt:20, Au:23] これ以外のものは検出されない。重水は昭和電工製の99.75 w/oで³Hは0.077 μCi/dm³のものを石英製の蒸留器で精製した後、使用した。これにMerck社製のLiOH, 98%のものを加えて1mol%とした。LiOHの分析はLi₂CO₃ 2% max, Cl:0.05%, Pb:20 ppm, Ca:200, Fe:20, K:200, Na:200であり、その他は含まれていない。対極及び、触媒にはPt網を用いた。その純度は99.99%であり、不純物としてはRh:18 ppm, Si, Cr, Pdはそれぞれ2 ppm, Au, Ag, B, Ca, Cu, Feは1 ppm以下であり、それ以外のものは検出されていない。電解容器はテフロンを厚さ1 cmで内張りした二重構造

北海道大学工学部(〒060 札幌市北区北13西8) Faculty of Eng., Hokkaido Univ., (N13 W8, Kitaku, Sapporo 060)
†北海道大学触媒化学研究センター(〒060 札幌市北区北11西10) Catalysis Research Center, Hokkaido University (North-10 West-11, Kita-ku, Sapporo 060)
†† 函館工業高等専門学校(〒042函館市戸倉町14-1号) Hakodate National College of Technology, (Tokurachyo 14-1 Hakodate 042)

Key Words: Cathodic Electrolysis, Isotope Ratio change, Element analysis, Palladium

のステンレス製の閉鎖型のもの¹⁾を使用した。容器の内径は7 cmで高さは20 cm, 内容積は770 cm³である。内部はMILLI-Q社製のMILLIPORE純水製造装置の純水(12M Ω -cm)で洗浄し, さらに110°Cで6 \times 10⁵ s間, 加熱処理した。その後, 実験前に軽水にLiOHを加え0.5 mol%とし, Pt網電極だけを使用して電解し清浄処理した。重水溶液は1A, 150°Cで6 \times 10⁵ s間あらかじめ電解を行い, 溶液中の不純物を取り除いた。このときの電極, 溶液などの不純物分析も行った。分析は日立製作所製原子吸光分析 z -8100によって行った。その後Pd試料棒の電解を行った。Pd棒には同じ純度の1.6 mm径の違うPd棒をスポット溶接して用いた。溶接部分は石英ガラス片で切削して不純物を取り除いた。Pd棒全体をアセトン中で超音波洗浄した後, 200°C, 10⁻⁴ Paの真空中で7.2 \times 10⁴ s間脱気を行った。電解は105°C, 0.2 A/cm², Pdの表面積33 cm²となるため, 全電流を6.6 Aとして2.76 \times 10⁶ s間, 行った。電解は7日間継続した後, 3日間停止し, その後再び電解するという方法を行った。電解実験の後, 試料を取り出し, 純水で清浄, 乾燥し, 収縮性テフロン製の管で表面全体をおおった。その後, ダイヤモンドカッターでPd棒を5 mmの幅に切断し, それをさらに中心から軸方向に2つの半月型にわけた。その後, 試料を分析純度のアセトン中で超音波洗浄を行った。そのようにした後, テフロンのおおいを取り除き, 各種の分析を行った。分析は電解前後の試料についてエネルギー分散型X線分析(EDX), オージェ電子分光分析(AES), EPMA, 二次イオン質量分析(SIMS)により行った。ここでEDXは20 keVのエネルギーの電子照射を試料にたいし, 面積を変えて行い, 発生X線はLiドリフト型のSi検出器で分析した。測定エネルギー範囲は0から20 keVとして1024チャンネルで分析した。分解能は150 eV(5.9 keVにおいて)であるが, 実際の測定においては各ピークの半値幅は200 eVであった。ピーク校正はC, Al, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Nb, Mo, Pd, Ag, Sn, Ce, Hf, W, Pt, Au, Pbの99.9%以上の高純度の単体により行った。AES分析はANELVA製, AAS 200により行い, 照射エネルギー3 keV, 照射電流2.5Aで深さ分布を求めた。EPMA分析は島津製作所製, EPMA-8705によって元素分布を求めた。SIMS分析は日立製作所製, IMA-3で行い, 照射はO⁺2を使用し, ビーム径100 μ m, 一次エネルギー12 keV, イオン電流は100 nAであり, 質量分解能はm/e=10000であった。質量校正はLi, B, C, Al, Si, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, Sn, Ce, Hf, W, Os, Pt, Au, Pbの単体により行った。校正の結果では, 各単体の同位体分布には自然のものとのずれは見いだされなかった。

3 結果

まずはじめに試料面全体についてEPMA分析を行い, 存

在元素の分布をみた。電解前のものからはPd以外の元素は測定感度以下でありこの方法ではなにも検出されなかった。また, 電解を行ったものでも0.2 A/cm²以下の電流密度や, それ以上であっても電解を単に継続したものからは, 何らの元素析出も認められなかった。電解処理によって析出した元素の検出で, すべての試料の表面から共通に認められたものは, 次の通りであった。C, O, S, Cl, Si, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Pd, Sn, Pt, Hg, Pb。これらのうちCa, Ti, Cr, Cu, Pt, Hg, Pb等はC, S, Cl, Si, Mn, Co, Ni, Zn, Sn等と比較してその量も多く存在するが, 試料の表面の場所によってその量に3倍ほどの違いがあった。それ以外の元素C, O, S, Cl, Mn, Fe, Ni, Zn, Mo, Pd, Sn等では試料表面全体にわたって, ほとんど均一に存在していた。さらにこれらの変動の大きい元素は, 試料の違いによっても変化が大きく, 3倍程度の濃度の違いがあった。

AESによる分析ではPd表面から1ミクロンまでの深さ分布を調べた。その結果表面はC, Oがほぼ40%と高い濃度を示し, それ以外ではCr, Fe, Ca, Cd等の元素が検出された。Oの濃度は内部にはいると65%まで増加していくが, Cは逆に減少し10%までになる。その他のものはほぼ一定であった。また電解前, 0.2 A/cm²以下やそれ以上の電流密度でも一定にして電解を周期的に行わなかったPdからはそれ以外のピークは認められなかった。

以上の二つの方法でどのような元素がどこに存在するかが決定できたので, 次にそれぞれの元素の量をEDXによってさらに詳しく定量した。その一例をFig.1に示す。

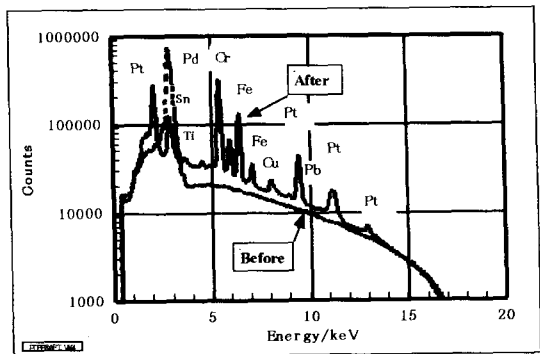


Fig.1 EDX spectra for Pd rod before and after electrolysis.

この測定によると元素分布は試料の表面の位置により変動し, 検出された元素の種類によって, 濃度には最大で10倍程度の変化があった。この原因の一つとして電子線による走査面積があり, それを絞るほどその変動が大きく, 逆に広げると場所による変動が平均化されるために,

100 ミクロン平方では濃度の変動は 2 倍程度になる。これは反応が局部的に起こっていることを示唆している。EDX の各ピークのカウンタ数はチャンネルごとに $10^2 \sim 10^6$ であり、バックグラウンドの変動幅の $10 \sim 1000$ 倍のカウンタ数を示している。ただしこれは測定対象の元素によって変化する。これから Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sn, Pt, Pb 等が検出されている。この結果を用いて次のSIMS分析の質量分布における元素の決定をする。

SIMS分析の結果の一例として Fig. 2 に電解後の試料について 0.2 A/cm^2 の電流密度で処理したものの結果を示す。質量スペクトルには 1 から 210 までのほぼすべてのものが確認されている。しかし電解前のものからはカウンタ数が桁違いに低いだけでなく、ほとんどの質量で全くカウントされないものがほとんどである。誤差について考慮すると、対象となる元素のない部分ではゼロとなっているが、対象と EDX や AES, EPMA などで確認された元素では 10^3 から 10^6 の値を持っている。それぞれの測定質量ごとの誤差としては $3 \sim 0.1 \%$ と評価できる。

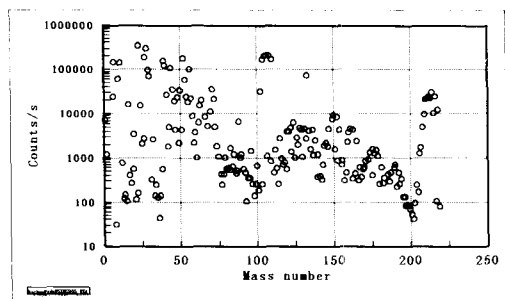


Fig. 2 Deviations of SIMS count number for Pd electrode after electrolysed in the solution of heavy water.

この数値に対して AES, EPMA, EDX の各方法によって確認された元素についてその同位体分布を求めていく。この過程はカウンタ数の大きなもの、および質量数の小さいものから行っていく。さらにカウンタ数の大きい質量のものについてはその酸化物、2 分子、さらにその 2 分子の酸化物イオンなどの存在について補正を行っていく。この作業が終わった後に O_2^+ イオンを使用した場合の各元素の感度補正を行う。Fig. 3 にこのとき使用した補正値について示す。

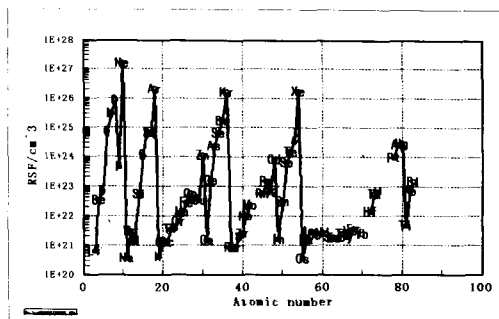


Fig. 3 Factors of counting correction for various elements by SIMS analysis.

これから特に希ガスでは感度が低く、アルカリ金属で高いことが示されている。AES や SIMS 分析では表面を Ar や O^+ イオンによりスパッターを行いながら観測したが深さ $1 \mu\text{m}$ 程度でもこれらの元素の量にはあまり大きな変動はなく、大きい場合でも表面の 60% 程度の変動幅におさまっていた。しかし、さらに Pd 棒を切断し、表面から内部に向けて金属バルク層の中のこれらの元素の濃度の変化を測定すると表面から $5 \mu\text{m}$ ではほとんどの元素の濃度が $1/10$ に、さらに $10 \mu\text{m}$ では $1/100$ に減少していた。またパラジウム内部には直径 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 程度の穴が電解後に多く生じていて、その内表面にもこれらの元素のうちのいくつかが存在していた。しかしその分布は表面と比べて極めて局在しており、量的にも 2 ないし 3 桁も低く、EDX 等では測定が困難であった。

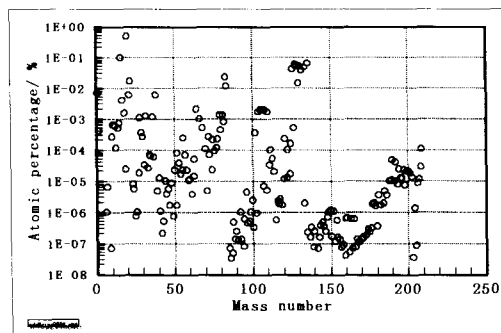


Fig. 4 Mass spectrum for Pd electrode surface obtained by SIMS analysis.

Fig. 4 にはこのようにして決定した最終的な Pd 表面の分析結果を示した。横軸には質量数、縦軸には各質量の原子パーセントの対数値で示してある。これから明ら

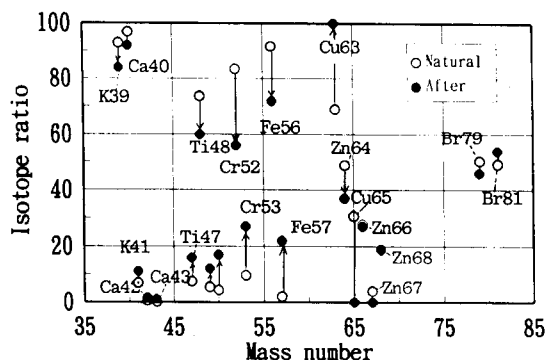


Fig. 5 Changes of isotope ratio for reaction products of mass number between 39 and 81.

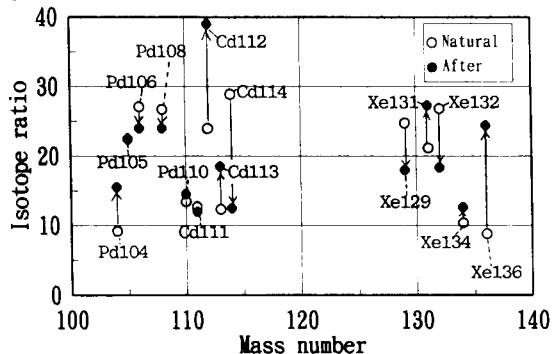


Fig. 6 Changes of isotope ratio for reaction products of mass number between 104 to 136.

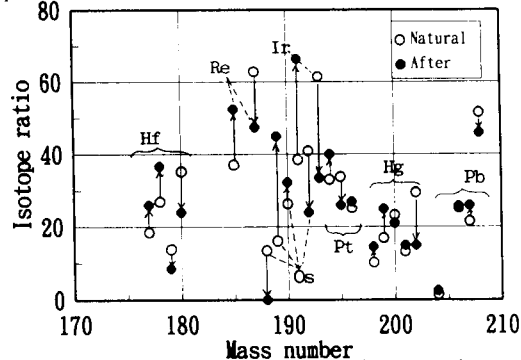


Fig. 7 Changes of isotope ratio for reaction products of mass number 177 to 208.

かに析出物はほぼ 4 の集団に分けられることがわかる。すなわち質量 50 以下の軽元素、50-80 までの中軽元素、100-140 までの中元素と 180-210 までの重元素である。反応生成物は原子番号に換算すると 20~30, 46~54, 72~82 の範囲に集中していることがわかる。ここですべての検出質量を 1 として規格化している。このために Pd に相当する質量の全量 1% と大変低い。この理由として酸素や Xe に相当する質量が Pd に比べて 1 桁以上多い。

この理由としては衝撃に使った酸素イオンによって試料温度が上昇し、そのまわり、あるいは内部から Xe が拡散し放出された結果と考えられる。

さらに SIMS 分析の結果を詳細にみると元素によってはその同位体分布が通常のものとは異なるものがあり、特に Cu, Zn, Br, Xe, Pd, Cd, Hf, Re, Pt, Ir, Hg 等で著しい。そこでそれぞれ Fig. 4 の元素分析ごとに同位体比の変化を Fig. 5, 6, 7 に示した。Fig. 5 では質量 39 から 82 まで示してあり、特に Cr, Fe, Cu, について同位体比が大きく変わっている。 ^{65}Cu はほとんど観測されていない。ここでは例外もあるが、一般的に質量数が奇数のものにおいて増大し、逆に偶数のものが減少している。Fig. 6 の 100~140 の質量範囲では Cd と Xe が大きく変化している。Fig. 7 の 172~208 の質量範囲では特に Hf, Re, Ir, Os, Hg 等で大きく変化していることがわかる。この範囲のものでは一般的に質量数の大きいものが減少し、反対に小さいものが増大している。これ以外のものは SIMS 分析において他元素と重なったり、また同位体分布が通常と変わらないものである。電解実験と同時に中性子放出も観測されたが、極めて散発的で以前報告²¹したレベル 0.4 n/s の量を超えない。さらに電解実験中の放出ガス類、たとえば He, Ar 等については測定を行っていない。また熱については再現性は悪いが、 $10^5 \sim 10^7$ Joule の範囲で異常な熱発生を認めている²¹。

予備電解後の Pt 電極表面を EDX, EPMA で分析した結果、析出している不純物のピークはまったく認められなかった。また、電解終了後の重水溶液を原子吸光法で分析した結果、液中には Li 以外に不純物として Pt, Pd がそれぞれ 10, 15 ppm 含まれていたが、それ以外のものについては検出されなかった。これから Pt は 4 mg, Pd は 6 mg 液中に存在している。また Pd 電極中に析出した元素の全量を計算してみると、ガスは水素、酸素、窒素やその他の希ガス類を含めて 81.5% に達する。これらについては EDX, EPMA などの方法では確認できないために SIMS 測定とそれらの方法との間に相対強度に差が現れてくることになる。これらのガス類はまたイオンの衝撃により試料温度が上昇することによって衝撃された部分以外からも拡散によって出てくることも考えられて、必ずしもその相対強度が正しいとは考えられない。そこでこれらのガス類を除外して試料中の元素の総量を概算すると C: 0.37, S: 0.67, Ca: 0.55, Ti: 0.86, Cr: 7.0, Mn: 1.18, Fe: 0.17, Co: 0.0057, Ni: 0.0157, Cu: 0.026, Zn: 0.80, Mo: 0.005, Pd: 4.77, Cd: 0.105, Sn: 0.069, Pt: 0.025, Hg: 0.0375, Pb: 0.021 atomic % となる。これらの値は試料表面から深さ $1 \mu\text{m}$ までの平均として計算したものである。これから総量を求めると、Fig. 8 に示すようになる。この図の中で Impurity と四角の印で表した元素は溶液中および試料中に存在した不純物がすべて Pd 電極の表面に析

出したと考えた場合の値である。Ca 以外の元素ではすべて析出元素の方が何倍にも多いことが認められる。特に Mn, Ti, Cd, Hg などについては不純物としてもどこからもはじめには検出されていない。

4 考察

このように 0.2 A/cm² 以上のカソード電解を 5 回行い再現性を確認している。ただし前記したように析出元素の量や分布は実験によって大きく異なっている。そのこ

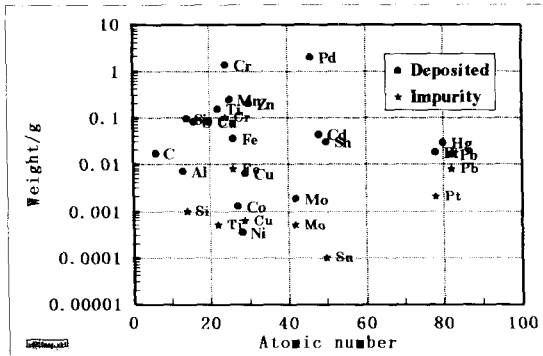
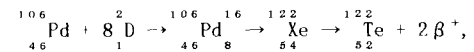
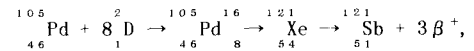
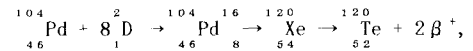
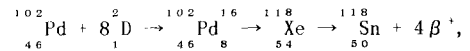
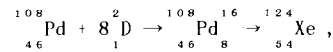
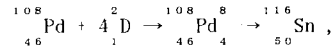
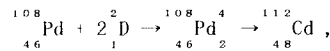


Fig.8 Total amounts of deposited element on Pd electrode and impurities.

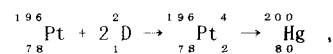
とはこの現象が表面に依存する反応であることを意味している。それでも不純物の管理を極めて厳密に行ったためにこれらは不純物とは考えられない。この電解による反応生成物の報告⁴⁻⁶⁾は近年多くなされている。しかしその同位体比が変化するという報告⁷⁻⁸⁾はわれわれ以外にはない。このような反応生成物が溶液、電極、セルからの混在物がすべて析出したとしても実測値よりも 1~2 桁少なく、さらに同位体比の変動の説明は全くできない。この反応は、溶液中の Li, D₂O, 電極材料中の Pd, Pt, その不純物、たとえば K, Na, Ca や B, C, さらに Ag, Fe 等を出発物質として考えなければならない。

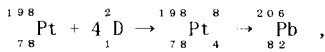
長時間カソード水素吸収を行うと、水素侵食により Pd が荒れた面となる。このような部分で電流が集中し、生成物もこの部分に集中している。一般に水素過電圧は直接平衡水素圧と比例するとされているが、延興⁹⁻¹⁰⁾によるとそうではなく、水素圧は水素の再結合反応の過程によって生ずることになる。すると全過電圧のうちで再結合過程の占める割合は条件によって異なる。これによると均一な表面を持ち、平坦な Pd の場合 30°C, 200mA/cm² の電流密度で 1 V の過電圧¹¹⁾となり、5.3×10⁻⁴ atm の圧力と計算される。しかし不均一な表面を持った Pd の欠陥部では放電反応と再結合反応の全過電圧に対する寄与が変化し、大部分が再結合反応で占められることになると推定される。Au 電極は Pd 電極と同じようにカソード電解により多く

の生成物を作り、その同位体比も大きく異なっている¹²⁾。この場合も反応の起こる部分はきわめて偏在しており、典型的な例では反応部分は 10⁻⁴⁻⁵ n/cm² で、その 1 個当たりの面積は ~10⁻⁶ cm² である。この部分に主に電流が集中していると考えると 10~100 程度電流密度が高いことになる。さらに放電、再結合過程の寄与割合がその部分で大きく変化し、大部分が再結合過程¹³⁾で占められるとすると、水素再結合の過電圧は 3~5 V となり、平衡水素圧力は 10⁷⁻⁸ atm と計算される。この程度の高圧が局部的かつ短時間であっても達成されると発生した水素や重水素原子核は媒体金属の原子核にきわめて接近することになる¹⁴⁾。このようになると核近傍の中中性子の一部が特に重い原子核に取り込まれ、不安定な重い核を経て、それ自身が分裂し、他の元素を形づくるものと考えられる¹⁵⁾。たとえば、媒体原子核としては、陰極材料、この場合は Pd であり、さらにカソード分極から析出した Pt が上げられる。上記の生成物および、その同位体変化をみると明らかになんらかの核反応、すなわち核融合、核分裂反応が同時に進行していると考えたと説明しやすい。そのように考えた反応例をいくつか以下に示す。



ここで重水素原子核は Pd の核のすぐそばを陽子、中性子のそれぞれスピン量子数によって安定な軌道をおさめるとしている。その順位はほぼ電子のそれぞれと同じであり、これがさらに外部の圧力によって核内に落ち込むと仮定している。さらに Pt では





特に析出物で原子番号 20, 28, 50, 82 はマジック番号といわれているものである。また ${}_{54}^{136}\text{Xe}$ は異常に増大しているが、これは中性子数が 82 であり、これもマジック番号といわれ、特に安定な核である。このようなものが選択的に生成されていると推論できよう。以上の反応例はあくまでも仮定の理論であり、現在までのところすべての反応を矛盾なく説明できるものは完成されていない。この様な核反応が電気化学的な水素発生反応ともなって生ずるのであれば、常温核融合反応ともなんらかの関わりがあるのではないかと推察される。さらにこの様な反応が金属中で起こるのであれば、各種の腐食反応、特に局部腐食や水素ぜい化過程ともなんらかの関連があろう。

5 結論

高温、高圧下で強く長時間電解した Pd 表面から数ミクロン程度の範囲に高濃度の析出元素を確認した。

- (1) 析出元素は大きく三つの集団に分けられる。元素番号 20~28, 46~54, 72~82 であり、量的にも Pd の数 10%, 10%, 数% 程度であった。
 - (2) Pd バルク層内部にも量的に表面と比較して 1/10~1/100 と減少するが不純物以外の元素が確認された。
 - (3) パラジウム内部には 1~10 μm の径の穴が多数存在し、その内表面にも多くの析出元素が見出された。
 - (4) 析出元素はいずれも同位体比が自然のものとは異なり、中でも Cu, Zn, Br, Xe, Pd, Cd, Hf, Re, Pt, Ir, Hg が大きく変化していた。
 - (5) 特に Xe の存在はガスでありながらその量も多く注目される。
 - (6) 金属バルクでは析出元素は表面から内部に向けて濃度勾配をもち、またその同位体分布も変化している。
 - (7) O, C, Ca, Na, Mg, Al 等の軽元素では同位体存在比のちがいは小さい。
 - (8) Ni も確認されているがその同位体比の変化は他の元素と重なるために確認できない。
 - (9) Pd, Pt も同位体比が変化しているのは出発物質として反応性が質量に依存することが推定される。
- 以上の結果から Pd 表面近傍でなんらかの核的な反応が起こっているものと推定される。

この研究は財団法人エネルギー総合工学研究所および財団法人熱・電気エネルギー技術財団からの援助によって行われていることをここに示し、感謝の意を表す。

文献

- 1) T. Mizuno, T. Akimoto, K. Azumi and M. Enyo, *Denki Kagaku*, **60**, No. 5, 405 (1992).
- 2) T. Mizuno, T. Akimoto and N. Sato, *Denki Kagaku*, **57**, No. 7, 742 (1989).
- 3) T. Mizuno, T. Akimoto, K. Azumi and N. Sato, *Denki Kagaku*, **59**, No. 9, 798 (1991).
- 4) J. O' M. Bockris and R. Sundaresan, "Electrochemistry, Tritium and Transmutation" (Table 2), *Cold Fusion Source Book*, (edited by H. Fox), International Symposium on Cold Fusion and Advanced Energy Sources, Minsk, Belarus, May (1994).
- 5) Y. Kucherov, A. Karabut and I. Savvatimova, *Clorimetric and Nuclear Products Measurements at Glow Discharge in Deuterium*, Scientific Industrial Association, LUCH, Podolsk, Moscow Region, Russian Federation, 1995; reviewed by M. Swartz, *Cold Fusion Times*, **1**, No. 4, 10.
- 6) M. I. Martinov, A. I. Meldianov and A. M. Cherepovski, (Kurchatov Atomic Energy Inst.), "Investigation of Anomalous Nuclear Events in Metals Saturated With Deuterium", *Cold Nuclear Fusion, Center of Intersectoral Science, Engineering and Venture, Non-conventional Technologies*, Moscow, 1995, 84; Abstracts review: *Fusion Facts*, **5**, No. 5, November, 20 (1995).
- 7) T. Ohmori and M. Enyo, *Fusion Technology*, **24**, 293 (1993).
- 8) R. T. Bush and R. D. Eagleton, *Frontiers of Gold Fusion*, Universal Academy Press, 405 (1993).
- 9) T. Maoka and M. Enyo, *Electrochimica Acta*, **26**, No. 5, 615 (1981).
- 10) M. Enyo and T. Maoka, *J. Electroanal. Chem.*, **108**, 277 (1980).
- 11) Moshe H. Mintz, *Journal of Alloys and Compounds*, **176**, 77, (1991).
- 12) T. Ohmori, T. Mizuno, Y. Nodasaka and M. Enyo, *Fusion Technology*, in press.
- 13) T. Mizuno and M. Enyo, "Sorption of Hydrogen On and In Hydrogen-Absorbing Metal in Electrochemical Environments" *Modern Aspects of Electrochemistry*, Vol. **30**, (1996).
- 14) C. E. Rolfs and W. S. Rodney, "Cauldron in the Cosmos" *Theoretical Astrophysics Series*, The University of Chicago Press, 96, (1988).
- 15) A. C. Mueller and B. M. Sherrill, *Annul. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 529 (1993).