

“Pd-black”を用いたDS-Cathodeによる新エネルギー

A New Energy Generated in DS-Cathode with “Pd-black”

荒田吉明*・張月嫦**

Yoshiaki ARATA and Yue-Chang Zhang

(Received May 31, 1994)

Abstract

In a series of experiments by DS-Cathode with “Pd-black” it was certified that an abnormally large amount of excess energy different from chemical ones was liberated for long time over several months.

An excess energy higher than 200[MJ] was obtained with an average rate of 50-100[KJ/hr] over 3000 hours. By two years experiments it was found that the data has 100% reproducibility.

It was verified that these phenomena caused by “Spillover Deuterium” generated in DS-Cathode.

Key Words : Cold Fusion, Excess Heat, Spillover Deuterium, Pd-black, DS-Cathode.

Arata + 94

1. Introduction

Pd-blackを用いたDouble Structure Cathode (DS-Cathode) によって、化学反応エネルギー以外の桁違に大きな異常エネルギーが、数か月以上の長期にわたって発生していることが確認された。0.1モルPd-blackの化学反応熱が約4 [KJ] であるのに対し、等量のDS-Cathodeでは、毎時平均50~100[KJ/hr] の割合で、連続3,000時間を越え、200[MJ] 以上のExcess Energyが発生している。2年間の断続運転によって100%の再現性のあることが実証された。このような現象を惹起したもっとも重要な要因はDS-Cathodeの中で発生した“Spillover Deuterium”であることが判明した。

筆者等はFleischmann and Pons¹⁾が1989年3月3日、PdをCathodeとする重水中での電気分解中発熱現象があり、“未知の核融合反応”があると発表した直後から研究に着手し、大きなCathodeを開発し、その年末には成果の一部を発表した²⁾。この研究に対応する筆者等の発想の原点は下記の三点にある。

- [A] 表面問題がキーポイントである。
- [B] Cathode の結晶格子の不整（格子欠陥、局所応力、アモルファス、マイクロクラックなど）が重要である。
- [C] 筆者等のうち荒田には1958年2月に、日本で初めてプラズマ核融合実験の発表を行うとともに並行して固体プラズマによる核融合を検討した、という背景がある。

* 近畿大学教授、Professor, Kinki University
大阪大学荒田記念館（〒567 茨木市美穂ヶ丘11番1号）
ARATA HALL of Osaka University (11-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka 567, Japan)

** 大阪大学溶接工学研究所（所在地、上に同じ）（上海交通大学教授、Professor, Shanghai Jiao Tong University）
Welding Research Institute, Osaka University (11-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka 567, Japan)

上記[A][B]の構想に従って、当初から“粉末”の重要性を認識し、先ず粉末をCathode表面へ付着させるため、Pd“粉末溶射”を考え、その成果を最初の論文から発表した^{2,3,4}。さらに[C]に従って、1958年当時、固体プラズマ核融合実験のため設計したPd棒（丸棒および円筒）「50mm×20mmφ」のCathodeをそのまま製作し実験に供した⁷。この大きなCathodeは現在なお継続して使用している。Fleischmann達をはじめ他のすべての研究者は、試験管内で実験出来る極めて小さなCathodeであって、出発点において筆者等とは明らかに発想を異にしている。1990年、筆者等は大きなPd Cathodeの内部を真空にし、その中に重水素吸蔵性の大きな粉末を封じ込めて、2重構造のCathode (Double Structure Cathode : DS-Cathode) とすれば、上記[A][B][C]の3条件が満足されるのではないかと考えた。このようなDS-Cathodeの実験には試行錯誤を繰り返し、ほぼ2年間を要した。先ずPd-CathodeをOuter Cathodeとして選び、内部の粉末(Pd-black)をInner Cathodeとした。Outer Cathodeは主としてD⁺イオンを反応の主体となるInner Cathodeに送り込む役割を果すことにした。

筆者等はほぼ1年間色々の実験を重ね、1992年9月よりDS-Cathodeの本格的な実験を開始した。この実験は現在なお継続されている。この成果の一部は1993年2月、投稿し、公表した⁵。

本研究はその後1年半を通じ、このDS-Cathodeに対する断続実験（数日間ごとの on, off の反復）と1年間放置した後、再実験を行うことによる経年特性、およびその後3,000時間の連続実験の成果などをまとめたものである。このDS-Cathodeに対し、従来他のすべての研究者が使用してきた箔、板、線、棒などのCathodeはSingle Structure Cathode (SS-Cathode)として区別した。

2. 実験および討論

本実験は前報⁵で述べたClosed Cell Systemを用い、Appendix Iの基本指針に従って、行わ

れた。Cathodeは前報⁵で使用したDS-Cathodeを一年放置し、経年変化を調べるため、そのまま再実験を行った。さらに、本実験は再現性を確認するため、合計1000時間程度の断続実験と約3000時間の連続実験を行った。

このDS-Cathodeの外形は1989年実験を開始した時から同じであり、Pd rod (50mm×20mmφ)である。このDS-Cathodeの原理と特性についてはAppendix IIに詳述した。

Fig. 1は1992-1993に行った実験のうち600時間継続した結果である。しばらく放置し時々実験を行い、その合計1000時間程度の継続実験でもほぼ同程度の結果が得られたので、さらに1年間放置して経年変化を調べることにした。

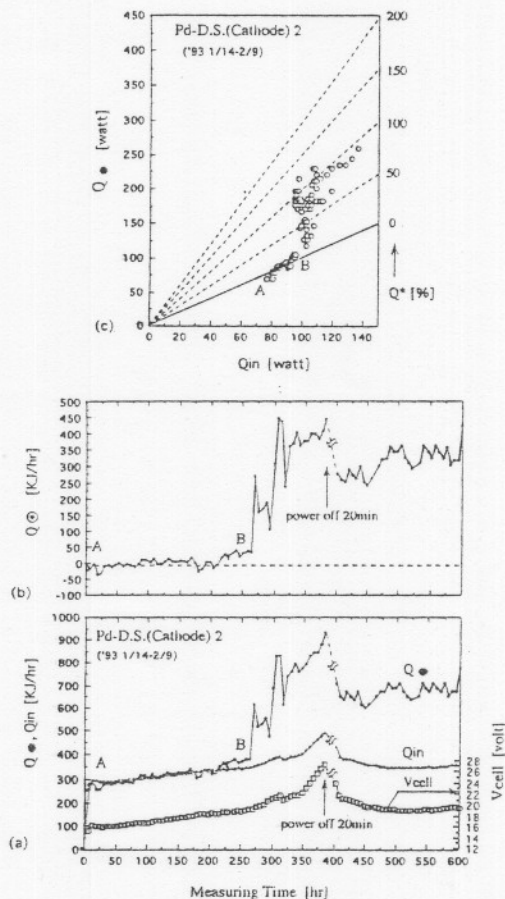


Fig. 1 Excess Heat Characteristic of the DS-Cathode in 1992-1993.

Fig. 2 は1994年3月、再びこのDS-Cathodeの実験を行った結果である。現在なお実験は継続されており、約3000時間にわたって大きな変化はなく、Fig. 1 と Fig. 2 はほぼ類似の結果を示

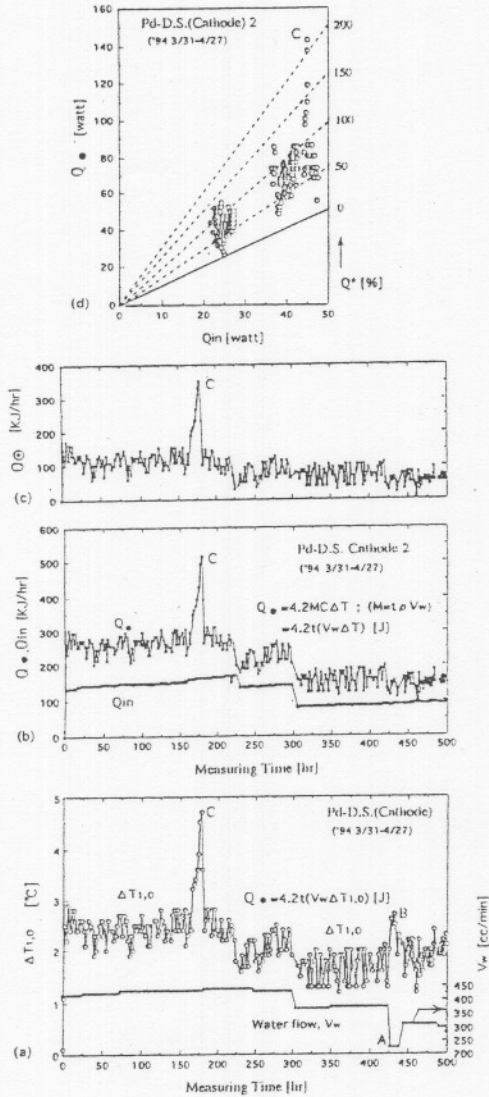


Fig. 2 Results of retesting the Fig. 1 DS-cathode after one year idle period.

- Change with time in the water flow V_w and the cell inlet-outlet temperature difference $\Delta T_{1,0}$ of the cooling water.
- Change with time in Q_{in} and Q_{\odot} .
- Change with time in Q_{\odot} .

しており、100%の再現性を示している。

実験では前述のようにAppendix Iに従っており、ここで用いた記号もそこで定義されている。Fig. 1 (a)はCellのEffective Output Q_{\odot} 、電気入力 Q_{in} およびそのCell Voltage $V_{Cell} (=V_0 - 1.5 [V], V_0$: 定電流電源電圧) に対する時間変化を求めたものである。Fig. 1 (b)はFig. 1 (a)よりCell出力 Q_{\odot} を求めたものである。またFig. 1 (C)は Q_{in} 、 Q_{\odot} 及びExcess Heat発生のExcess Rate Q^* の関係を整理したものである。これらの図の中でAB区間は初めて使用するCathodeの場合に出現する必要な潜伏期であって、新しいDS-Cathode特有の性質である。一旦発熱したCathodeの潜伏期は桁違に短くなる。Fig. 2はFig. 1の実験後、一年間放置されたDS-Cathodeに対する再実験で、Excess Heatに関する重要なパラメーターの関係を示したものである。

Fig. 2 (a) は $Q_{\odot} (=4.2MC\Delta T = 4.2t(V_w \cdot \Delta T_{1,0})$; $M=t\rho V_w$) の基礎パラメーターであるCooling WaterのCellへの入口と出口の温度差 $\Delta T_{1,0}$ と、そのWater Flow V_w の時間変化をプロットしたものである。何らかの原因で V_w の変化があり、Excess Heatの評価に影響があるかどうかを調べた。その結果図中A-zoneのように故意に突然変化させたところB-zoneのように $\Delta T_{1,0}$ が自動的に変化して、 Q_{\odot} およびCell Power Q_{\odot} には全く変化が起こらず、Cell機能に高い信頼性のあることを示した。そしてこの実験中にC-zoneに示したように17時間にわたって突然二倍程度の温度上昇があり、大きな発熱の可能性を示したことは特筆に値するものと考えている。Fig. 2(b)(c)図はそれぞれ Q_{in} 、 Q_{\odot} および Q_{\odot} の時間特性を示したものであるが、 Q_{in} 、 V_w に全く変化がないにもかかわらず、C-zoneの出現したことは今後に大きな夢を与えている。Fig. 1 (c) と Fig. 2 (d)が殆ど一致していることは驚異的である。

Fig. 3はFig. 2の実験終了後、70分間"off状態のまま"放置したDS-Cathodeを同一条件で再実験を行ったときの発熱特性を調べた結果であ

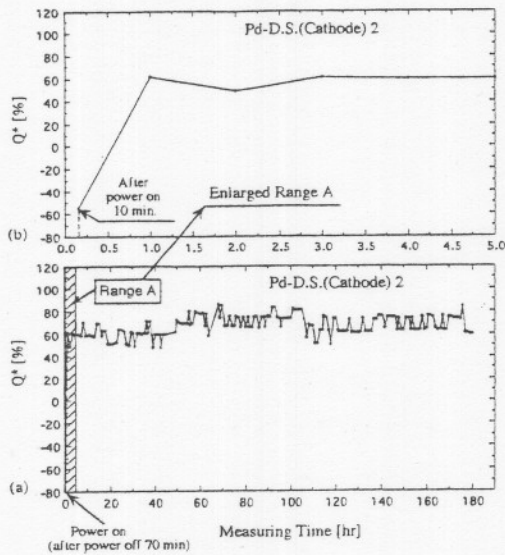


Fig. 3 Excess Heat Characteristic during the Fig. 2 DS-Cathode retest after 70 min. idle period.

る。特にスイッチオンして10分後はExcess Rate Q^* はほぼ-60%であったが、1時間後には定常発熱状態となり、 Q^* はほぼ70%前後に達して安定していることがわかる。Fig. 3 (a) の実験開始後1時間までのA zoneを拡大して示したのがFig. 3 (b)である。Fig. 1 の図中に示した潜伏期ABが最初の実験では極めて長いけれども、Fig. 3 でわかるように再実験の場合は極めて短く1時間以内で終了することがわかる。

Fig. 4 はこの実験中DS-Cathodeの内部温度 T_c と、ジュール熱で最も強く加熱されている表面近傍の電解液の温度 T_s を比較したものである。 T_c は常に T_s よりほぼ 1°C 高く、熱源が明らかに内部にあることを示している。さらにPower Offした場合も常に温度差 $\Delta T (=T_c - T_s > 0)$ があり、長期間にわたって 0.3°C 前後をkeepしているのは驚異的である。再三の実験によってもほぼ同じ結果が得られ、再現性は100%であった。

この実験に使用したDS-Cathodeによって得られたExcess Energy : Cell Power Q_0 はこれまでの実験データによって、 10^5 [KJ] (=100[MJ])

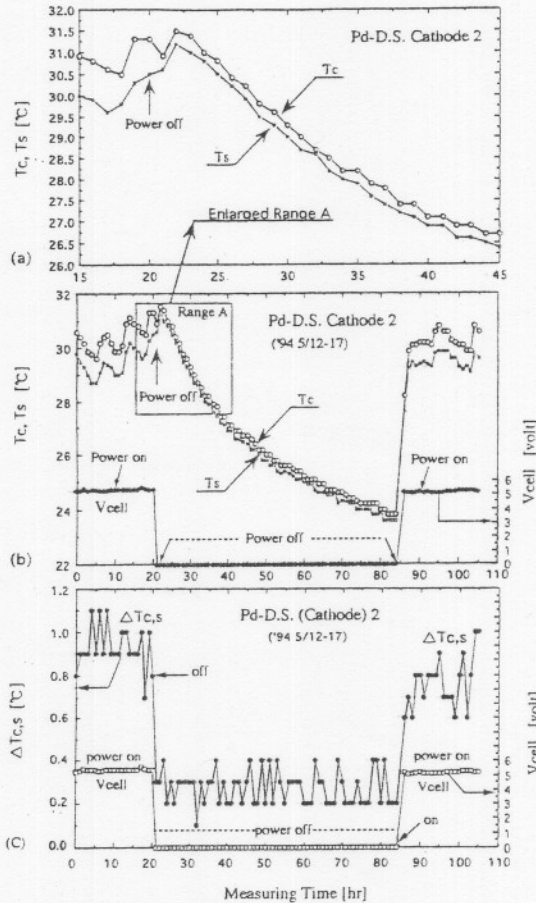


Fig. 4 Internal temperature characteristic of the DS-Cathode.

をはるかに越えていることを示した。これに対し、Pdと重水素ガスによる化学反応熱 (≈ 40 [KJ/mol]) は桁違に小さいことが知られている。この実験ではDS-Cathodeに用いたPd粉末は約0.1molであるから、この場合の化学反応熱はほぼ4 [KJ] に過ぎない。

さらに、Fig. 5 に示すように、発熱量のみならず、それらの発熱特性にも著しい差異が認められる。すなわち、DS-Cathodeと類似のステンレス製真空容器 (DS-Vessel) を電解溶液のDS-Cathodeと同じ位置に置き、この中に等量の“Pd-black”を封入し、重水素ガスを導入する

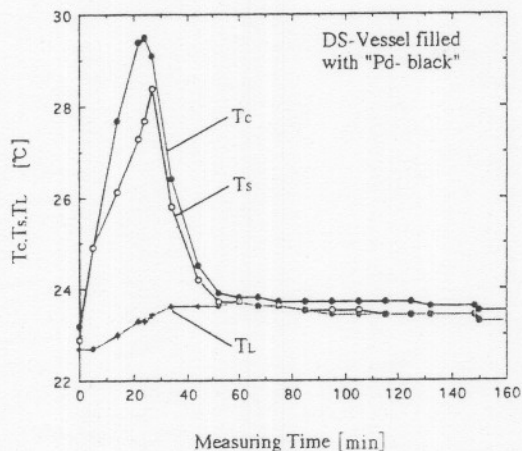


Fig.5 Chemical reaction characteristic of "Pd-black" in the DS-Vessel.

と、Fig.5に示すように、内部温度 T_c は急速に上昇し、表面温度 T_s もこれにつづいて上昇している。電解液の温度 T_l はゆっくりとほぼ 1°C だけ上昇している。この図から分かるように、"Pd-black"の化学反応熱はほぼ20~30分で終了し、DS-Vessel全体の温度も1時間以内に元の温度に戻っている。

以上の実験データはDS-CathodeによるExcess

Heatと化学反応の発熱特性に著しい差異のあることを示しており、本質的に異質の機構に基づくエネルギー発生であることは明らかである。

Appendix [I] Measurement System of the Cell Output Characteristics

実験はClosed Cellを用いて行われ、そのCell内におけるExcess HeatはFig. Aに示した測定システムによってすすめられた。Closed CellへのTotal Input, (E_{in})とTotal Output, (E_{out})は等しい。 E_{in} は電気入力(Q_{in})とExcess Heat (ϵ)の和であり、 E_{out} はClosed Cell内の冷却Coilを流れるCooling Waterを媒体として外部に放出されるエネルギー(Q_{\bullet})と、Cellから不可避免的に外部に流出するCell特有の損失(Cell Loss: Q_{Loss})の和である。従って、これらのパラメーター間の関係式は次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} E_{in} &= E_{out} && \dots\dots\dots (a) \\ Q_{\bullet} - Q_{in} &= \epsilon - Q_{Loss} (\equiv Q_{\odot}) && \dots\dots\dots (b) \\ Q^* &\equiv \frac{Q_{\odot}}{Q_{in}} && \dots\dots\dots (c) \\ Q_{in} &= IV_{cell}t [J]; Q_{\bullet} = 4.2MC\Delta T [J] && \dots\dots\dots (d) \end{aligned} \right\} (1)$$

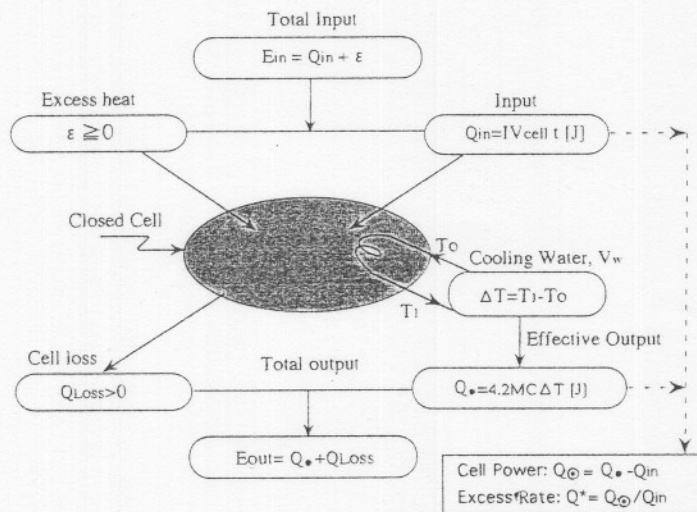


Fig. A Block diagram of the measurement system for the Cell Power Q_{\odot} .

Where Q_{\bullet} : 実測可能なCellからの実質的放出エネルギーで, "Effective Output"である。

Q_{\odot} : Cellから取出せる実質的な過剰熱で "Effective Excess Heat" であり, ここでは "Cell Power" と呼ぶ。

Q^* : 実質的な過剰熱の発熱率であり, 過剰率 "Excess Rate" と呼ぶ。

Q_{Loss} : Cellの熱絶縁性を示すもので, 完全黒体のCellはない。従って, 必ず $Q_{Loss} \neq 0$ である。

[注] 理想的Cellは $Q_{Loss} = 0$ である。この時 Cell Power Q_{\odot} は過剰熱 ϵ に一致するが, 実際には $Q_{Loss} \neq 0$ のため, $Q_{\odot} (= \epsilon - Q_{Loss}) < \epsilon$ であるから, Cellの出力特性は ϵ でなく, Q_{\odot} 及び Q^* で表示されるほうが信頼性があり, 実用的である。

Appendix II Characteristics of DS-Cathode and "Spillover Deuterium"

従来使用された "Single Structure Cathode" (SS-Cathode) は長時間の電解中には電解液と Impurityにより汚染されるのみならず形状が限定される。そこでCathodeを二重構造とし "Outer Cathode", "Inner Cathode" に分割し, それぞれに機能を分担させる。すなわちOuter Cathode (B-zone)は電解液 (A-zone) から D^+ イオンを受取り, Inner Cathode (C-zone) に転送させる役目を果たす。C-zoneには核反応を起こ

す可能性があり, 任意の形状を持つCathode材で充満されている。このInner Cathodeには純粋な D^+ イオンとの反応が約束されているとともに, 必要があれば電磁エネルギーを受け取ることが出来る。筆者等はすでに高周波エネルギー注入装置を試作した。

Fig. BはこのDS-Cathodeの原理を図解したものである。Fig. B(a)はB-zoneにおけるD atom濃度 $[D]$ を維持するためにはA zoneにおけるD atomのB-zoneへの浸透圧 (電解圧) P_A とC-zoneにおける D_2 gasの浸透圧 P_C^* (Internal Pressure, P_C) がほぼ同じであることを必要としている。

$$P_A \sim [D] \sim P_C^* \dots\dots\dots (2)$$

ここでB zoneをPdとしてD atomのatomic ratioを $D^* (= [D]/Pd)$ とすれば

$$D^* = a + b \log P_C \dots\dots\dots (3)$$

となる⁵⁾。常温では $D^* = 0.7$ で $P_C \sim 100$ [atm], $D^* = 0.8$ では $P_C \sim 3000$ [atm] 前後とされている。水素の場合は $H^* = 0.8$ と 0.9 ではそれぞれ $P_C \sim 50$ [atm], と ~ 5000 [atm] とされている。

さてこのような D_2 gasの圧力 P_C を有するC-zoneの中に独立して置かれた粉末に浸透するD atomの濃度 D^* は(2)式によって求められる。この場合 $D^* > 0.8$ を与えるには, 極めて大きな P_C を必要とする。

しかし, C-zoneの粒子がFig.B(b)に示すようにOuter Cathodeの内壁にContactしていると,

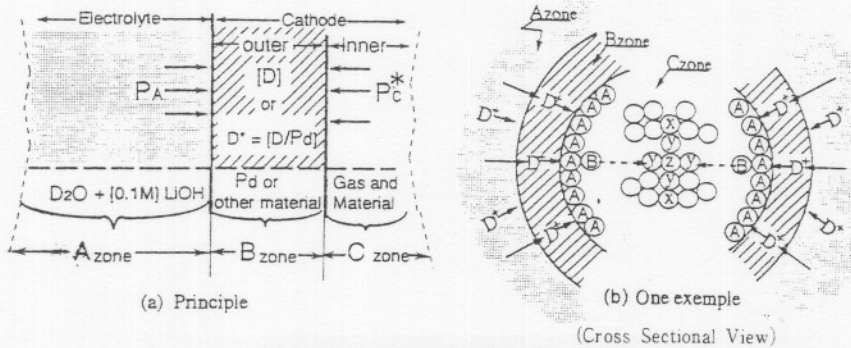


Fig. B Principle of DS-Cathode.

Outer Cathode 内のD atm の濃度D*は "Contact zone" (筆者らはこれを "Wall Effect" と呼ぶ) を通じて "Spillover" (or Surface Migration) により粒子群 (A, B, C...x, y, z) すなわち Inner Cathode 中の粒子表面を通じて急速に全粒子に移動, それぞれ粒内へ格子不整や "Intercalation" により急速に拡散浸透し, Outer Cathode の濃度D*と短時間にはほぼ同じになる。Inner Cathode の粒子群表面を移動する重水素の速度はOuter Cathode 内を拡散する速度に比べると桁違に早く, 大きなCathode にかかわらず, 短時間に中心部Z粒子に達する。この特性はSS-Cathode に比べDS-Cathodeの極めて大きな特長である。

従って, 従来のSS-Cathode の最大の欠点は大型サイズのCathode を用いることが出来ないことであるが, DS-Cathodeでは超大型のCathode にすることも極めて容易である。実際そのため従来のSS-Cathodeでは試験管に入るような超小型のCathode しか用いられていない。

さてFig. B(b)図は本実験で用いたDS-Cathode の一例であり, Pd CathodeのB-zoneのサイズを20φ×50mm とし, その内部のC-zoneを真空にして, この中にInner Cathode としてPd粉末を

充填し, その温度と粒子間隙の圧力変化の測定を可能にした。C-zoneの真空領域は電解経過時間とともに, D₂ gasが充填し, その圧力特性Pc はFig.C のようになる。

さて, Fig. C(a)図はPowderのない場合のC-zoneのPc-τ_c特性である。例えば, 電解電流密度として, i=640 [mA/cm²]とした場合, D atm がB-zoneを通過し, C-zoneに達した時の平均経過時間がτ_c=A₀であり, これはC-zoneに出現するD₂ gasのIncubation Periodである。さらに時間が経過し, Pc=1, 5, ……20 [atm]に達したときの経過時間はそれぞれτ_c=A₁, A₅, ……A₂₀ [hour]となる。

すなわち, C-zoneの圧力Pcはi=640 [mA/cm²]では電解経過時間とともに直線的に増大(A₀A₅A₂₀)し, 1時間あたりの圧力増加はṖ_c=2.5 [atm/hr]となる。さらにi=400, 300, 200, 100 [mA/cm²]では, それぞれṖ_c=1.72, 1.33, 1, 0.8となっている。

Fig. C(b)図は電解電流 i=640 [mA/cm²]の時, その on, off状態がPcおよびṖ_cに及ぼす影響を調べたものである。直線A₀A₄A₁₀は粉末のないC-zoneにおけるon状態での圧力特性で

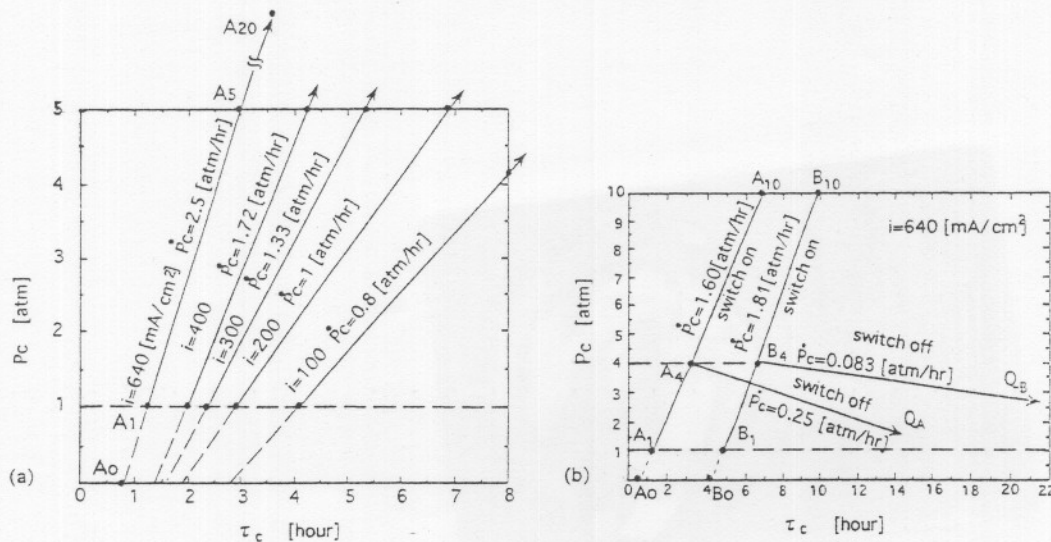


Fig. C Pc-τ_c characteristics of the C-zone in the DS-Cathode.

- Pc-τ_c characteristics of powderless C-zone.
- Effect of the electrolytic current on/off state on the Pc-τ_c characteristics.

あり、 A_4Q_A は off状態での圧力特性である。これに対し、C-zoneに粉末を充填した場合のon状態での圧力特性は $B_0B_1B_4B_{10}$ であり、off 状態では B_4Q_B となる。粉末のある場合は、ない場合に比べてIncubation Periodが極めて長くなること、さらにOff 状態のとき、圧力 P_c の減少が極めてゆっくりしていることが大きな特徴である。

ここで、注目すべきことはFig. C(b)およびその解説図Fig. Dにおいて、粉末のない場合の $\tau_c = A_0$ と粉末のある場合の $\tau_c = B_0$ の比較である。 B_0 は A_0 に対し、5倍程度長い。これは $(B_0 - A_0)$ が粉末に重水素が吸収されている時間を表わしているからである。これは重水素が"Spillover Deuterium"として、機能していることを示す明らかな証拠である。

すなわち、例えば"Spillover Deuterium"が存在しないとすれば、Fig. Dの解説図に示すように、真空容器内に侵入した重水素はまず粒子間隙の体積 $V_G (=V_0 - V_p \ll V_0)$ 、 V_0 :真空容器体積、 V_p :全粒子体積)に充満し、圧力は直線 A_0A' のように昇圧するはずである。その後、重水素はゆっくりと粒内に拡散することになる。実測値の直線 A_0A は粉末のない場合であり、 V_G

より大きな V_0 を充満する必要があるので、明らかにゆっくりと昇圧し、その傾斜角は $\theta_A < \theta_B$ である。しかるに実測値は A_0 より5倍位長い B_0 まで、ほとんど圧力の増大はなく、 B_0 で直線 B_0B に従って急激に昇圧している。この現象は"Spillover effect"⁶⁾を考えないと全く理解できない。すなわち"Spillover Deuterium"が瞬時に各粒子表面に移動し均質分布する。しかる後、intercalation,あるいは結晶不整などにより急速に粒内に浸透し、飽和状態に接近して B_0 に達し、圧力は $\theta_B (> \theta_A)$ の角度で立ち上がり B_0B になるはずである。これは実測値の結果と一致している。すなわち粒子表面に分布した重水素の付着力はかなり強固であり、"Spillover Deuterium"の機能が["Cold Fusion"の連続的発生の"要"の役目を果たす]ものと考えている。

謝 辞

本研究は日本学士院学術研究奨励金並びに近畿大学研究助成金によって行われた。本研究推進にあたり、適切なお討議を頂いた近畿大学教授藤田広志教授および京都大学乾智行教授並びに絶えざるご支援を頂いている大阪大学溶接工学研究所の有志の方々へ心より謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) M. Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins : J. Electroanal. Chem., 261 (1989) 301, Erratum, 263 (1989) 187.
- 2) 荒田吉明, 張 月嫦 : 核融合研究 62 (1989) 398, Proc. The Japan Academy: PJABDW 66B (1) 1-22 (1990).
- 3) Y. Arata and Y. C. Zhang : Fusion Technology, 18 (1990) 95.
- 4) 荒田吉明, 張 月嫦 : 核融合研究 67 (1992) 432; Fusion Technology 22 (1992) 287.
- 5) 荒田吉明, 張 月嫦 : 核融合研究 69 (1993) 963; Proc. ICCF 4 (1993).
- 6) Proceedings of the Third International Conference on Spillover, Kyoto, Japan, August 17-20, 1993.
- 7) 荒田吉明 : 〈高翔〉No. 14 (1990) 28.

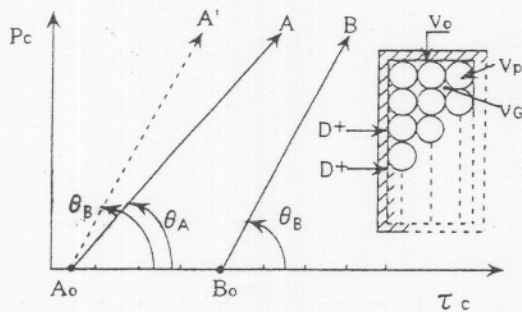


Fig. D Illustration diagram for Fig. C (b) demonstrated existence of "spillover Deuterium" in DS-Chathode.