

新水素エネルギー（“常温核融合”）研究の最近の動向

高橋 亮人

大阪大学大学院原子力工学専攻

565 吹田市山田丘2-1

Recent Results and Activities on the New Hydrogen Energy ("Cold Fusion")

Akito TAKAHASHI

Department of Nuclear Engineering, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka, 565 Japan

Current status of so called cold fusion (new hydrogen energy) research is reviewed. Researches in last 7 years after March 1989 have established the following facts: a) There happen surely anomalous excess heats sometimes in heavy water electrolyses with Pd cathodes. b) During the excess heat generation, no correspondingly intense d-d fusion takes place. c) Excess heat correlates with $D/Pd > 0.85$, electrolysis current density $> 0.2 \text{ A/cm}^2$ and dynamic loading condition. d) No correlations in-situ with primarily emitted radiations (charged particles) are observed. e) A few un-identified reports on He-4 production as nuclear ash which have been ever claimed should be many times duplicated by future efforts. The key for the future of new hydrogen energy is of resolving "nuclear or chemical issue" for excess heat.

1. 緒言

1989年3月から一年ほどの興奮に満ちた世界中での追試は、すぐに下火となり“常温核融合”研究には病的科学のレッテルも貼られて、大多数の科学者は手をひいた。世間の関心は薄れたかにみえたが、思い出したようにぼつぼつと実験成功のニュースがマスコミ報道され、小規模であるが研究が継続されているようである。研究の実体はどうなっているのだろうか？ 関心だけは維持している人々も結構いるようである。少数の研究者（世界で数百人？）によるこの7年間の追求は、無に帰して「病的科学のレッテルだけが残った」という結末にはなっていない。しかし究明の速度が遅いようである。なにがわかって、なにがわからないのか、以下にまとめの小論を述べる。

2. 主な結果のまとめ

この7年間の世界の研究の概略は、ほぼ1年おきに行われた国際会議のプロシーディングス⁽¹⁻⁶⁾より知ることが出来る。これらの報告のうち約半数程度が学術雑誌（Fusion Technology、Physics Letter A、J. Anal. Chem.、など）に論文としてPeer Reviewを経て掲載されていると思われる。またロシア語圏での会議報告集が4つほど出ている。

Fleischmann - Pons の1989年の発表で大センセーションとなったPd陰極重水電解系での大量で異常な過剰熱の発生については、オリジナルFP方式装置による追試は、過剰熱の再現をほとんど見ることが出来ないでいる。しかし、改

良 FP 電解方式 (SRI 型、IMRA-J 型、パルス電解型、など) では、10-20% の再現確率で入力 の 10-20% 程度 の過剰熱発生をみることが出来るようになった。この結果より、少量だがやや定常的な過剰熱発生現象が存在すると見られている。入力 の数倍にも至る過剰熱がごく希にバースト的現象として観測されている、が再現はきわめて困難である。Pd 金属陰極への重水素吸蔵により、次章でのべる条件を満たせば、既知の化学反応で説明困難なレベル (100eV - 1keV / 原子) の過剰熱が発生するのは、ほぼ間違いない。核融合など核反応との関連性については後で述べる。重水 Pd 電解系で見られる過剰熱は、軽水 Pd 電解系では発生しないと報告されている。ところが最近パターソン特許で有名になったが、ポーラス Ni 系のビーズをつめた電極での軽水電解系⁽⁶⁾ で入力 の数倍 1 kW におよぶ過剰熱がかなり良い再現性で確認されると伝えられている。軽水系での核融合はまず考えられないので、この現象が重水 Pd 系の過剰熱と同じ原理のものである可能性も考慮すると、「水素系の new-chemistry によるエネルギー放出」が存在するのかもしれない。

一方、金属固体中で d-d 核融合反応が電子雲のクーロン遮蔽効果により、多分非定常状態で既知の理論の推測をこえて、常温においても異常に反応率を増大させる (これが”常温核融合”の初期イメージであった) 可能性についても、金属への d-ビーム打ち込み実験などにより研究が続けられてきた。そこでは、原理的な異常増大効果や未知発生粒子 (陽子、アルファ粒子) の存在が、ごく少量であるが、確認されつつある^(5, 6)。これらは、常温核融合原理の存在について希望を持たせるものである。しかし、重水 Pd 系での異常な過剰熱と d-d 核融合反応を直接対応させられるような実験事実は、一度も見つかっていない。d-d 反応で発生する 2.45MeV 中性子とトリチウムの検出は、初期に多くの研究者により追求された^(2, 3)。まれに検出できた中性子はまことに少量で、0.5 から 10^3 毎秒のレベルであった。1 W に対応する d-d 反応率では、 10^{12} の中性子が毎秒発生する。過剰熱が 5MeV/反応のなんらかの核反応と仮定すると、過剰熱と中性子を同時に検出した実験⁽⁴⁾ のデータより、(過剰熱反応率) / (中性子発生率) = 10^{12} から 10^{13} となる。比が 1.0 となりえないことから、過剰熱が既知の d-d 核融合反応で発生したことは、絶対にあり得ないのである。このことは、Fleischmann-Pons の最初の発表から今日に至る研究結果で一貫している。この無関係な”因果関係”が、研究を否定する論拠 (中性子が出ないから実験はインチキ) として意図ある識者により悪用されてきたことは、真理を愛する者として、まことに残念である。

(t/n) 発生量比が $10^3 - 10^9$ と 1.0 (d-d 反応の場合) より大きく外れること、中性子が 3-10MeV の高エネルギー成分に富んでいること、の二つの観測結果は、なにか未知の核反応が関与していることを示唆していると思われる^(2, 3, 4)。この謎解きは未だ終了していない。中性子が関与しないなら、数 MeV の運動エネルギーをもつ荷電粒子 (2つ以上) を発生する核反応が次に考えられる。高エネルギー荷電粒子は Pd 金属中で X 線 (21keV 特性 X 線と制動 X 線) を発生するはずなので、その検出が試みられているが、いまのところ検出されていない。中性子も X 線もガンマ線も出ていないとなると、毎秒 10^{13} の反応率で数 W の過剰熱を発生させたはずの「核反応」は、仮想複合核の励起エネルギーを量子電磁力学的効果で Pd 格子振動へ直接転送するメカニズムをもたねばならない。実験により、He-4、Li-6 のような”灰”のみが過剰熱と対応して発生すれば、このことが証明される。表-1 に過剰熱と核及び化学反応の相関

についての可能なシナリオを5つにまとめている。

表一 1 : 過剰熱と核反応生成物関連のシナリオ

Scenario	Excess H.	Primary Reaction	Secondary Reaction	Measurements
#1	Yes	Several Mev Charged Particles (α, p, t, h, d)	$D(\alpha, n): (n/\alpha) \approx ca. 10^{-9}$ $D(d, n): (n/d) \approx ca. 10^{-6}$ X-ray: 22.4keV for Pd	Heat, He-4 C.P. spectrum n-spectrum X-spectrum (n/t) ratio
#2	Yes	Nuclear-Lattice Energy-transfer Fission Low-Energy C.P.	Ionization Displacement Recombination Soft X-ray	Heat, He-4 Isotope shift Fission Products X-spectrum
#3	Yes	Chemical Mechanical	Fracto-fusion $D(d, n)$	Heat 2.45Mev n
#4	No	Very few Rad. n, gamma	negligible	n-spectrum gamma-ray
#5	No	None	None	None

He-4の発生については、Milesの有名な発表⁽²⁾がある。

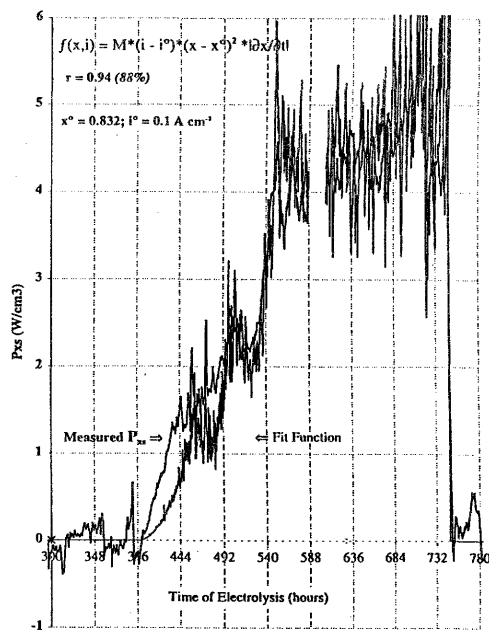
3. 最近の実験の主なもの

実験方法・種類には、重水系と軽水系があり、それぞれに固体、液相、気相・真空、ビームでの水素・重水素の金属固体への吸蔵・とりこみの組み合わせ、プロトン伝導体など他の固体材料の使用、と様々である。ここでは、金属(Pd)・重水素系に的を絞り、最近の主な結果を紹介する。

過剰熱を発生させる重水素吸蔵の条件・Pd金属材料の条件については、日本のNEDO/NHEラボとIMURA-J、米国SRIを中心にかなり集中した研究がおこなわれてきた。水素吸蔵率(D/Pd)を0.85以上にあげるには、ホーナイン程度の純度で、アニール処理と表面処理が効果がある。

SRIのMcKubreは、電気分解電流密度*i*、D/Pd比*X*、*X*の動的変動量*dX/dt*、と過剰熱 ΔH_{ex} との経験的相関式を得た⁽⁶⁾。

$$\Delta H_{ex} = C (i - i_0)(X - X_0)^2 (dX/dt)$$



図一 1 : 過剰熱と吸蔵条件の相関

ここで $i_0 = 0.2A/cm^2$ 、 $X_0 = 0.85$ はしきい値である。この相関の一部は IMURA-J 他で確認された。 (dX/dt) 項は重水素吸蔵のダイナミックな過程が重要であることを示している。

表-1より、過剰熱と核反応の相関を調べる場合、二次的な生成放射線となる可能性が高い X線と中性子（とそれらのスペクトル）をオンラインで調べることは、有力な手懸かりとなりうることがわかる。筆者らは、図-2に示すような実験システムをもちいて、過剰熱、中性子とそのスペクトル、X線とそのスペクトルを同時にホアグラウンド (FG) 系とバックグラウンド (BG) 系について、実験・測定する研究を行っている⁽⁷⁾。

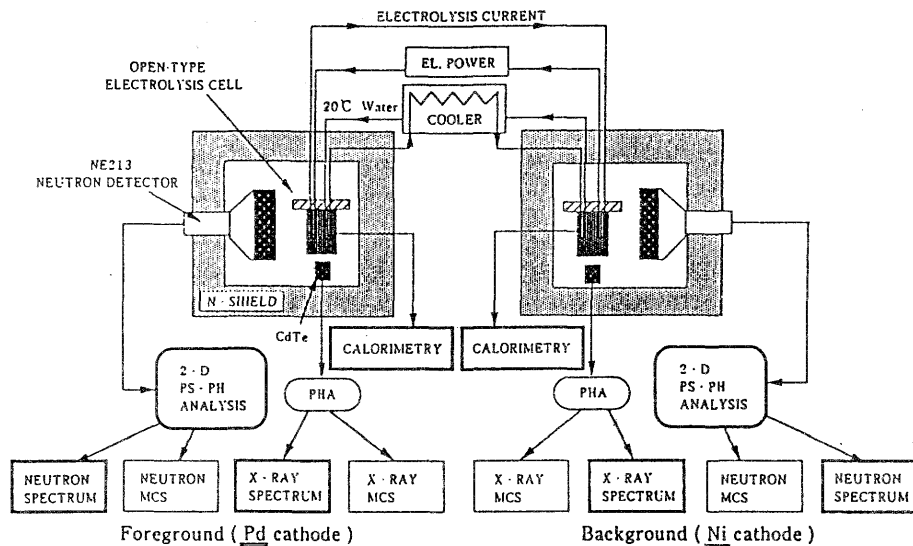
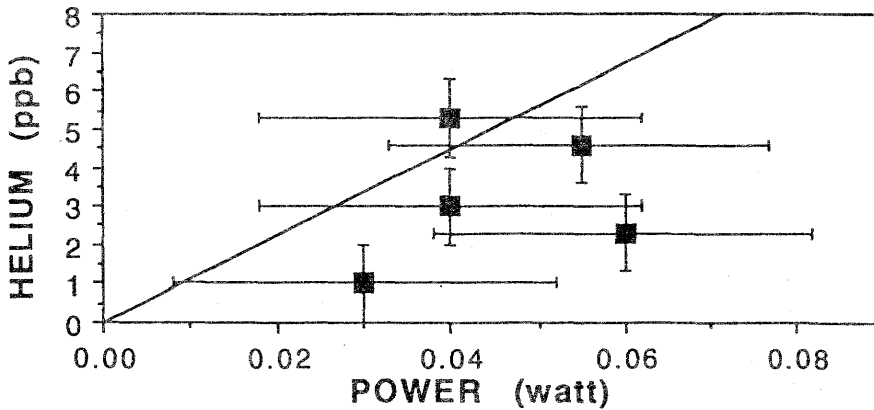


図-2：核熱相関研究用双子型実験システム

過剰熱測定のためのカロリメトリーの条件、電気分解の条件をFG系とBG系で出来るだけ同一にするため、冷却水と電解電流を直列につないでいる。BG系実験としては、Ni陰極重水電解セルをもちいている。BG系として、Pd陰極軽水電解を用いることもある。この実験系でNHE標準Pd材(板材) / 冷間加工をFG系陰極にもちいて、10例中2例でFG系のみ3σの誤差範囲を越す過剰熱(約8%、4W)が観測されている。そのとき、Pdの特性X線(約21keV)は検出されなかった。中性子もBGレベルに近く、毎秒1以下(以下)の発生量であった。従って、表-1のシナリオ#1に否定的な結果である。ただし、約15keVより下に連続スペクトルの軟X線らしきものが時々観測されたので、0.1MeV程度の荷電粒子(アルファ粒子か)が発生している可能性が残っている。筆者のところでは、He-4の発生を調べるため密閉型の電解装置を用いて、D/Pd比と過剰熱の同時測定とガス相とPd中の原子の質量分析をQマス法でおこなっている。マスフローカロリメトリー法で過剰熱の発生が確認された。しかし明確なHe-4の発生は確認出来ていない。Milesら⁽²⁻⁶⁾は、過剰熱と相関して対応出来る量のHe-4を検出したと繰り返し報告している。図-3にMilesら

の結果をまとめた図を示す。図中実線は、 $d + d = He-4 + 23.8MeV$ を仮定してのHe-4発生量と過剰熱の関係を示す。実験値がこの実線の近くにあることがわかる。



Helium produced as a function of excess power. Relationship based on $d+d=He+23.8 MeV$ shown as line. The helium concentration results from a constant current of 500 ma held for a constant time. Collection was done using a metal system.

図-3 : He-4発生量と過剰熱の関係 (Milesによる)

しかし実験値の誤差棒はかなり大きく、他者による同様な結果は十分に出そろっていない。荒田ら⁽⁸⁾は、PdブラックをPd金属ロッドに封じ込めたDSカソードで実験し入力約2倍の熱出力(100Wレベル)を検出した。このPdブラックを1300°Cに加熱して4重極質量分析計で調べて、Pdの1ccあたり 10^{20} におよぶ大量のHe-4を検出したと報告している。これらの重大な結果は、他者により追試確認されねばならない。

Celaniら⁽⁹⁾は、パルス電解法を大電流(数十A)短パルス(50ns)化しての特殊条件とPd中Dのelectro-migrationを利用する長い線状Pdカソードを用いる重水電解実験をここ数年研究している。この方法により、D/Pdが1.2にいたるような非常に高い吸蔵率と不安定な時間変動を観測した。また、入力の二倍以上で50Wにいたる長時間の過剰熱を観測している。中性子、Heの測定は残念ながら難しく(電磁ノイズとオープンセルのため)測定されていない。

重水素イオンビームをTi、Zrなどの金属に数keVから250keVでインプラントして、核反応生成物(荷電粒子)をスペクトル分析する実験を笠木ら⁽¹⁰⁾や飯田ら^{(6), (11)}がおこなっている。どちらの実験からも、3体重水素同時反応(3体核融合)を示唆するアルファ粒子と陽子のスペクトルが見つかっており、その正確な反応同定が試みられており、注目されている。知られている核物理プロセスであるランダムな反応では、実験のビームとターゲット重水素濃度の条件では、 $d-d$ 2体反応と3d反応の比は、 $(R3/R2) = 10^{-23}$ 程度である。実験値は 10^{-6} から 10^{-4} であり、3体反応が異常に増大しているものと思われる。また、金属中の低エネルギー $d-d$ 反応が通常理論以上に増大する結果も得られつつある。これは、「固体内核融合」と呼んでいる固体物理と核物理がからんだ核反応があるのでは?という問いに原理の問題として重大な回答を与える

ものかもしれない。しかし、重水電解系の過剰熱との関連をいうには、大きなギャップがあり、多方面からの実験で埋める努力を要する。

4. あとがき

いわゆる常温核融合研究は、「新水素エネルギー研究」として少人数のグループとはいえ系統的に進められている。その進捗状況は、初期に期待した（3-4年で原理が解明され、実用化のめども見える）より遅れて遅いといえる。しかし、重水電解Pd系での過剰熱発生条件については、かなり解明が進んだといえる。実験の再現性も向上している。この過剰熱が何らかの核反応によるのであれば、われわれは、無限のエネルギー源と成りうる反応原理を発見したことになる。他方、新手の化学反応（原子軌道電子の深ディラクレベルのようなもの）であれば、エネルギー源には成り得ないことになるが、エネルギー貯蔵/輸送の手段としての利用がありうる。” Nuclear or Chemical ” issueに回答するべく、ここしばらくの系統的研究がまたれる。

参考文献

- (1)Proc. ACCF1, Salt Lake City, 1990, University of Utah publ.
- (2)Proc. ACCF2, Como, 1991, The Science of Cold Fusion, Italian Phys. Soc. publ.
- (3)Proc. Anomalous Nucl. Effects in Metal/Deuterium Systems, Provo, 1991, AIP Cof.228
- (4)Proc. ICCF3, Nagoya,1992, Frontiers of Cold Fusion, Univ. Acad. Press (1993)
- (5)Proc. ICCF4, Maui, 1993, Trans. Fusion Tech., 26, No.4T (1994)
- (6)Proc. ICCF5, Monte Carlo, 1995, Imura-Europe publ.
- (7)ibid., pp.69-78
- (8)Arata, Y., Chang Y.: J.J. High Temperature Society, 22(1), pp.29-47 (1996)
- (9)Celani, F., et al.: Fusion Technology, 29, 397-404 (1996)
- (10)Kasagi, J., et al.: J. Phy. Soc. Jpn., 64 (1995) 777
- (11)Takahashi, A., et al.: Fusion Technology, 27, pp.71-85 (1995)