

常温核融合研究の現状

太田健一郎・吉武 英昭・神谷 信行

横浜国立大学工学部 ㊟240 横浜市民保土ヶ谷区常盤台 156

(1993年8月5日受理)

Present Status of Cold Fusion

Ken-ichiro Ota, Hideaki Yoshitake and Nobuyuki Kamiya

Yokohama National University
156 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240

(Received August 5, 1993)

パラジウムを用いた重水電解において常温核融合が起こると発表されてから4年になるが、ことの真偽についてはまだ確定していない。理論的にまったくありえないことなので否定する向きも多いが、明らかに異常現象を示す結果も数多く報告されている。本稿では理論的な問題点を明確にするとともに、研究の現状、広がりを実験事実に基づいて紹介する。

中性子は電解法では生成が少なく、気相法、放電法において顕著なバースト状の発生が多くみられる。電解における過剰熱に関しては入力10倍まで観測されるようになったが、再現性に問題があり、さらに中性子、あるいはトリウム生成とは相関のないことが明らかになりつつある。

1. はじめに

1989年3月に米国ユタ州の二つのグループ(英国から客員教授として在任していたフライシュマンを含む、ボンズらのユタ大、ジョーンズらのプリンガムヤング大)から、常温における重水の電解中に、核融合でなければ説明のつかないような現象があると発表され^{1,2)}、当初は、学会、産業界ともに大騒ぎとなった。

核融合は太陽エネルギーの源であり、水素爆弾にその原理が使われている。人類にとって制御した状態での核融合反応に海中の重水素が利用できれば、資源が無尽蔵となるので、夢のエネルギーといわれている。反応を起こすためには、数千百度以上の高温が必要とされ、一国の予算では負担できないような多額の費用を費やして、巨大な装置で実験、研究が行われているものの、制御した状態での反応はまだ実現していない。これが、手のひらに収まるような試験管の中で、電気分解という簡単な操作で起こるとしたら、大変なことである。

2. 常温核融合とは

常温核融合現象とは、たとえばPdなどの水素吸蔵金

属に重水素を吸蔵させると、固体内(あるいは固体表面)で核融合反応が起こるとしか考えられない過剰熱、中性子、トリチウム、He、荷電粒子などの生成が見られることである。これらが必ずしも同時に発生するわけではないが、このような異常現象のことをまとめて常温核融合と呼んでいる。この現象は固体が関与して起こる核融合と考えることができるが、現段階ではこの異常現象と核融合反応との直接の相関は得られていない。

この常温核融合に関しては、存在を疑問視する研究者は多い。これは、従来の核物理の理論からはまったく起こりえないことであるからである。筆者らはこの方面の専門家ではないので、詳細は他に譲るが^{3,4)}、大きくはつぎの2点となろう。

1) 観測できる範囲で核融合が起こるまで、核同士が接近する可能性がまったくない。

金属水素化物の中には水素は高密度で充填される。表1にはその密度を表すが、プラズマ状態と比較すると格段に高密度であるが、PdDと重水中での重水素の密度は同程度である。この密度から計算すると、どのような楽観的な仮定を入れても、毎秒1回、あるいは1週間に1回の割合でも核融合反応が起こることは説明でき

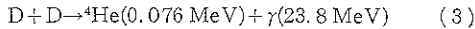
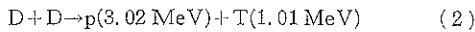
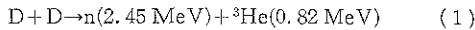
表 1 単位体積中に含まれる重水素の原子数

物 質	原子数/ 10^{22} cm^{-3}
プラズマ (10^7 K)	10^{-8}
D_2 ガス (25°C , 1 atm)	5.4×10^{-3}
D_2 (20.4 K , 液体)	5.0
D_2O (15°C , 液体)	6.7
PdD	< 6.2
TiD_2	9
VD_2	10.3

ない。

2) 百歩譲って、核融合反応が起きているとしても、反応生成物の割合が重水素同士の反応から予想される値とは桁違いに異なる。

重水素が関連した核融合反応はつぎの3種が考えられている。



ここで、n は中性子、p はプロトン、T はトリチウム(三重水素)を表わし、() はそれらの粒子のもつエネルギーを示す。理論的には(1)、(2)の反応は同じ確率で起こり、(3)の反応はほとんど起こらない(確率0.01%)。したがって、従来の理論の $\text{D} + \text{D}$ 反応では中性子、トリチウムは同じ数だけ生成し、 ${}^4\text{He}$ はほとんど生成しないことになる。

図1には、これまでに報告された過剰熱、中性子、トリチウムのレベルを大ざっぱにまとめて示す。ここで、過剰熱は Energy の軸で、中性子、トリチウムは右の個数の軸で示してある。この図で、従来の理論の $\text{D} + \text{D}$ 反応を前提にすると、中性子、トリチウムが1個ずつ生成したときの発熱は 7.30 MeV (約 10^{-12} W) であり、 1 W の過剰熱は中性子、トリチウムの 10^{12} 個の生成に対応する。すなわち、この図で理論からは過剰熱、中性子、トリチウムがすべて同レベルでなければならないが、実際に報告されているものは、過剰熱発生を基準にすると桁違いの差があり、トリチウムは 10^{-6} 程度、中性子は 10^{-12} 程度小さい。換言すれば、中性子発生を毎秒1回の現象とすると、中性子数として数万年分に相当する熱が、1秒で出たことになる。これらの生成物が同時に観測された例はほとんどなく、さらに問題となるが、いずれにしても、生成物を見ても、予想される $\text{D} + \text{D}$ 核融合反応の挙動とは大きく異なるのである。

反論として(1)~(3)と異なる核反応が起きていると主張する者もいるが、従来の考え方では、これ以外の反応はもっと起こりにくいことになる。

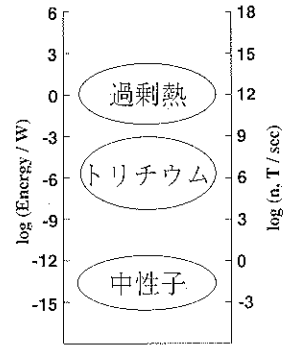


図 1 常温核融合において過剰熱、中性子、トリチウムの報告されている発生レベル

1)、2) で示したことは従来の核物理の基本に基づくところであり、これに反する現象は考えられない。しかしながら、すべての研究者が再現できないという問題はあるものの、いくつかのしっかりした実験においてこの異常現象が起こることは明白になりつつある。すなわち理論では考えられないが、重水の電解などの際になにがしかの異常現象が起こることは確実であり、どうもその現象が核反応と関係していそうである。

3. 常温核融合研究の現状

3.1 常温核融合の方法

常温核融合を起こすための方法にはいくつか提案されているが、以下にその主なものを示す。

(1) 電解法

フライシュマンら、あるいはジョーンズらが、最初に行った実験であり、Pd を陰極に用いて重水电解を行うと、金属中に重水素が多量に吸蔵され、過剰熱を中心にした異常現象が起こるとされている。現在でも常温核融合研究の多くが、この方法を用いている。電解質には LiOD あるいは Li_2SO_4 が用いられるが、Li が直接現象に関与しているか否かは問題である。軽水でも熱発生が起こると主張するグループもあるが、この場合は陰極は Ni、電解質は K_2CO_3 である。

(2) 気相法

Ti などの水素吸蔵金属に液体窒素温度で重水素を吸蔵させ、室温に放置すると、重水素の放出過程で、バースト状の中性子発生、あるいはトリチウムの生成が観測される。イタリアのフラスカッチ研究所で見いだされ、その後多くのところでの追試が成功している。

第3回常温核融合国際会議でわが国の NTT より Pd に気相法で重水素を充填した後、 ${}^4\text{He}$ を観測したとの報告があったが、これは確度が高い。さらに、固体電解質であるタングステンブロンズを用いても放射線に異常現

象があるとの報告もある。

(3) 放電法

Pd あるいは Pd/Si (または SiO₂) を積層した物を重水素ガス中に置き、電圧をかけると、中性子、トリチウムの生成が見られる。名古屋大、米国ロスアラモス国立研究所で始められた方法である。特に、生成するトリチウム/中性子の比が 10⁶ 程度になることが注目される。

3.2 中性子発生

当初は、核融合反応として重水素が関連した反応(1)、(2)が起こると考えられた。これら以外の反応はまず起こらないと考えられたので、この反応の生成物である中性子、あるいはトリチウムの検出に実験の主力が注がれ、なかでも中性子については、液体シンチレーターを用いれば、そのエネルギーまで測定できるので、実証の決め手になると考え、研究が進められた。特にわが国では、大部分のグループが中性子のみについて測定したのが実情である。ところが、実験を進めると、生成したとしても、ごくわずかの中性子しか認められず、少ない発生量の中性を、精度良く測定するのは、それほど簡単ではないことが明らかとなってきた。ジョーンズの研究は少ない発生量の中性をいかに確実にとらえるかに主眼があったはずである。ごくわずかの中性子発生を正確に測定するには必要なことは宇宙線などによるバックグラウンドを下げることである。そのためには、地下での実験が有効であるとされ、いくつかの箇所で行われてきている。たとえば、神岡の廃鉱を利用した地下 1000 m での超低バックグラウンドの実験までが実施されている。

中性子は電解法では、発生したとしてもごくわずかであろうと思われる。当初、ジョーンズが報告した中性子発生量は毎秒 1 個程度であったが、低いバックグラウンドでの正確な測定によると、発生したとしてもこれの百分の一以下といわれている。少ない中性子発生を確認するためには、2 種類以上の検出器で、同時に検出することも必要と思われるが、そのような事実を報告した例はない。

さらに、中性子発生と熱発生は、必ずしも相関がなく、中性子測定が常温核融合現象の決め手にならないことが明らかになりつつある。

3.3 過剰熱発生

過剰熱発生は、この問題の端緒になったものであり、化学的にみて、かつエネルギー問題と関連した実用的な面からも、最も興味のある現象である。これはいくつかの常温核融合の方法の中で、Pd を用いた重水電解において特異的に観測されている現象といえる。過剰熱には入力の数 % の過剰になる定常的な発熱と、～数倍になるバースト状の発熱がある。現在では日仏のイムラグ

グループ、スタンフォード研究所、それにわが国の大阪大が中心的なグループといえる。当初のフライシュマンらの発表には、特に放射線計測に関して不備な点があったが、その後の熱を中心にした精力的な研究により、実験精度も向上し、検出される過剰熱量も増加してきた。現状では Pd 中に蓄積されるエネルギー量は、Pd-LiOD-D₂-O₂ 系で起こりうる、通常の化学反応のエネルギー量の 1000 倍以上となっている。当初、過剰熱発生はフライシュマン・ボンス効果と呼ばれ、核融合とは切り離されて考えられていたが、現在では核反応が関与していると考えざるをえない状況になってきている。

この熱測定は、電解のための電気エネルギーを投入しつつ実験するので、測定法、データの評価法、誤差に関して多くの議論があった。わずかの過剰熱を測る場合には、確かに問題であるが、最近では測定法がそれほど問題にならないほど多量な過剰熱を検出した例もいくつかある。

過剰熱の発生は重水溶液だけではなく、高温の溶融塩 (LiCl-KCl) を用いた系でも、400°C 付近で 10～20 倍程度の過剰熱が発生することが、ハワイ大のグループより報告されている。実験の再現性について疑問視する向きも多いが、これが事実とすると、常温より価値の高い熱エネルギーがかなり多量に得られるので、エネルギー利用への応用が直ちに進められる可能性もある。

過剰熱発生反応の生成物として、最近 ⁴He が注目されている。米国海軍武器研究所のグループが過剰熱の発生と、それに見合う ⁴He の生成を報告している。ユタ大はじめ他のグループでも同様な報告が見られ、特に最近の気相法による ⁴He の確認により、一段と注目されるようになった。これらが事実とすると過剰熱を起こす核反応が (1)、(2) ではなくて、(3) の可能性がでてきている。この反応では中性子もトリチウムも生成しない。核融合反応で熱のみが生成するならば、重水素の資源量も問題ないので、まさに人類にとって、究極のクリーンエネルギーが実現できるかもしれない。ただし、従来の理論ではこの反応の起こる確率は小さく、さらに同時に生成するはずの γ 線などの放射線への疑問は残っている。

重水電解による過剰熱発生については報告されているものの中で、そのレベルが大きく異なっている。大ざっぱには、フライシュマン、ボンスのグループを除くと過剰量は 10～40% であり、かつバースト状の熱発生である。このレベルでは過剰熱が数 W/cm² Pd であり、通常の化学反応のオーダーと大差はなくなる。表 2 には Pd を用いた重水電解系で起こりうる発熱反応を示す。これらの反応が同時に起こるわけではないが、過剰熱が核融合

表 2 化学反応により放出されるエネルギー

化 学 反 応	反応熱 (W/cm ²)
電極露出による金属中の重水素の再結合	0.04
ガス相での重水素の再結合	0.29
液中の電極表面での重水素の再結合	0.29
重水素化物の α - β 相転移	0.015
重水素化物の結合エネルギー	0.30
PdD ₂ の解離	1.8
Pd-Li 合金の生成	0.16
応力緩和	0.10
合計 (すべてが同時に起こると)	3.00

に基づく主張するには 10 W/cm² Pb 以上を得たいものである。

表 3 には過剰熱測定として代表的なフライシュマン・ポンスのグループと SRI のグループの結果を比較して示す。フライシュマンらの結果は電解で発生する重水素と酸素を系外に逃がしながら測定する (開放系) ので正確な測定は困難であるが、装置を改良し、精度を向上させても、同様な事実は観測している⁶⁾。なによりも観測

表 3 重水電解におけるフライシュマン・ポンスのグループとマックブリのグループの過剰熱測定の比較

	Fleischmann-Pons (IMRA-E)	McKubre (SRI)
電解槽構造	開放型 ガラス製	閉鎖型 テフロン被覆 SUS 容器
電解条件	定電流 (~ 1 A/cm ²) 常圧	定電流 (~ 2 A/cm ²) 加圧
電解液	0.1 M LiOD	1 M LiOD
Pd 電極	10% Ag-Pd 5% Ce-Pd (Johnson-Matthey 社製)	99.9% Pd (Engelhard 社製)
熱測定法	等温壁型	液流通型
過剰熱	定常 ~ 0.4 W ($\sim 40\%$) バースト ~ 50 W ($\sim 800\%$)	バースト ~ 0.4 W ($\sim 20\%$)
その他	電流密度と発熱の相関	D/Pd 比と発熱の相関

される過剰量が大きく、測定誤差として片づけるわけにはいかないだろう。この大きな過剰熱は彼らが用いている Pd 試料によるところが大きいと思われる。SRI では生成する重水素と酸素を系内の触媒で再結合させ、閉鎖系とし、入力エネルギーをすべて熱エネルギーに変換して測定している。この方法では系が複雑にはなるが、正確な測定が可能となる。

4. おわりに

常温核融合が発表されてから 4 年が経過し、数多くの論文が出されている。これらのすべてが信頼できるわけではないが、この異常現象を明らかにとらえているものも少なくない。事実は理論より優先すべきである。

今後の課題としては (1) 再現性の確立、(2) 材料科学的研究、(3) 具体的な核融合反応との関連の証明、が挙げられる。わが国でも通産省のきも入りで組織的な研究が始まろうとしている。その成果を期待したいものである。

なお、ここで取り上げた個々の結果の詳細については常温核融合に関する過去の国際会議の記録を参考にしていただきたい⁶⁻⁹⁾。

文 献

- 1) M. Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins: J. Electroanal. Chem. **261**, 301 (1989); erratum **263**, 187 (1989).
- 2) S.E. Jones, E.P. Palmer, J.B. Cairr, G.L. Jensen, J.M. Thornes, S. F. Tay and R. J. Rafelski: Nature **338**, 737 (1989).
- 3) 池上英雄: 応用物理 **60**, 212 (1991).
- 4) 深井 有: 日本物理学会誌 **48**, 354 (1993).
- 5) M. Fleischmann and S. Pons: Phys. Lett. A **176**, 118 (1993).
- 6) Proc. 1st Annual Conf. Cold Fusion, Salt Lake City, Utah, 1990 (National Cold Fusion Institute, Utah, 1990).
- 7) AIP Conf. Proc. **228**, Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems, Provo, Utah, 1990 (AIP, 1990).
- 8) Science of Cold Fusion, Proc. 2nd Annual Conf. Cold Fusion, Como, Italy, 1991 (Italian Physical Soc., 1991).
- 9) Frontiers of Cold Fusion, Proc. 3rd Int. Conf. Cold Fusion, Nagoya, Japan, 1992 (University Academy Press, Tokyo, 1993).