

話 題 (Ⅱ)

常温核融合研究をどう捉えるか

(東京工業大学原子炉工学研究所) 岡本 眞實

はじめに

F P (核分裂生成物ではなく、Fleischmann & Ponsの略)の発表が、試験管核融合と呼ばれて世界を駆け巡ってから既に4年強になろうとしている。あの「騒動」はどこへ行ってしまったのだろうか。と思われる方も少なくないであろう。世間的には、関心の対象ではなくなったものと言った方が正しいと思っている最近である。そのような時に「核の核」であるシグマ委員会の機関誌核データニュースに常温核融合に関する寄稿を求められ少なからず逡巡した。その理由は2つあって、一つは文献屋や情報屋を軽蔑してきた小生にとって変化の多い常温核融合の世界の今日の状況をつかんでいないことがあって、正しく現状を紹介できないであろうことにあり、2つ目の理由は「核の核」の専門家の方々を対象に核反応の話をするのは正に釈迦に説法の排りとなろうことにある。

それでも、敢えてお引き受けしたのは、表記したようなテーマについて最近多少とも考えるところがあり、それをご紹介して核の専門家諸氏からのご批判・ご意見を頂く最適な機会を与えられたものと勝手に了解したからである。本稿では、旧聞になる諸事項はできるだけ省いて最近の流れを紹介し、後半で表記した課題への私見を述べてみることにした。

1: 核現象と過剰熱

F Pはともに電気化学の研究者である。彼らがPdを電極(陰極)として重水を電気分解することによって、なぜ核融合反応がおこり過剰熱が得られるものと考えたのか、その後会う機会もあつたはずだが、全く要領をえない返事しかかえってこなかった。一方の火付け役を果たしたJonesにはかなり明確な答がある。それは、地球の ^3He の起源の探索にあり、同位体比のわずかな変動を地球や宇宙の活動のインディケータとする研究に縁のある小生にとっては、理解できる出発点である。

F Pの発想は、恐らく古くから知られていたPdを水素電極とするときの異常な事象の解釈に興味があり、時に起こる異常な発熱現象の理解にPd中の重水素核融合を思いついたのではないかと知っている。もっとも異常な発熱などは軽水で起こっていたのであるが。そこで彼等は彼等なりに中性子や γ 線そしてトリチウムの検出装置を用意してその結果をそのような形で発表したのであろう。もっとも彼らが核の専門家に計測についてだけでも相談していれば、もう少しは理にかなった発表になったかも知れないが、もし相談していたら「馬鹿馬鹿しい」の一言で拒絶されていたであろうし、相談につてくれたとしても結果はどうしようもなく、恐らく本稿を依頼されることにもならなかったように思える。日本人にとって核エネルギーが原爆という悲しい現実で知らされたように、常温核融合も「試験管核融合」などと軽薄に知らされた不幸はあったが、決して無駄ではないようだ。

最初のFPの論文から、検出された核現象のエビデンスと過剰熱の間の 10^{10} に及ぶ桁違いのくいちがい、Pd中に溶解した重水素どうしの原子間距離から計算される 10^{-70} にもなる無限小の反応確率と相乗効果をなして、物理学者や核科学者から徹底的に叩かれる基となっている。このくいちがいは、今日でも相変わらず論争の中心となっているとともに、最大の課題としている研究者が少なくない。

過剰熱は、確かにプラグマティックには最も世受けする。従ってこの過剰熱が報告されなかったならば、常温核融合はあれほどの話題とはならなかったであろうし、わずか4年強といった期間でも研究を持続させる駆動力は、この過剰熱であったことも事実である。FPに対する学界からの攻撃を幾分かでも軽減させた事項が、幾つかある。その最初が、イタリア・フラスカッティ研でのいわゆるドライ方式による中性子検出であり、その再現確認がLANLでなされたことで、第二は同じLANLとインド・BARC研での異常 t/n 比の検出であり、第三は、米国SRI (Stanford Research Institute)での、再現性の高い過剰熱の検出で、第四は阪大高橋グループのやはり大きな過剰熱の検出である。このように、この常温核融合研究を先導したトピックスは、前半では核現象であり後半が過剰熱とも読める。

この流れに、昨年10月名古屋で開催した第三回常温核融合国際会議での幾つかのトピックスが最近の先導役になっている。中でも、NTT基礎研の山口・西岡による真空法での ^4He 検出の報告は大きな話題を提供し、今後の先導役の一つとなるものと期待されている。山口等の報告では、相応する過剰熱も検出したとしており、ここに至ってようやく核現象のエビデンスと過剰熱が並んで議論できる糸口を得たとも言えようか。

2: 最近のトピックス

最近というのをどこに設定するか難しいが、取あえず名古屋会議に絞ってみることにした。と言うのも、その後筆者は特段の情報収集をしていないからであるが。

名古屋会議では、それまでに開催された3つの国際会議に比べて3倍を超す報告と参加者があり、海外から125名(35%)と平たく言えば大成功であった。この会議を企画実行するにあたって多くの議論がなされたが、最も印象的な議論は会議の名称にあった。それは上の記述にも関係するが、「熱派」と「核派」の2派が存在するという世界的な構図を反映した議論である。ICCF-II (International Conference on Cold Fusion)をイタリアで開催する際にも同様な議論があり、小生も核派に組してフラスカッティ研を激励したことがあったが、いざ我が国での開催ということになり、一層真剣に議論せざるを得なかったのである。そこで小生は、Solid State Nuclear Phenomena, Nagoya '92 なる会議名称を主張したが、学術振興会から免税処置の認可をもらうには連続して開催されている会議であるとする必要条件に負けてICCF-IIをのむことにした。ここにも、表記した捉え方との関連があるのだが。

最近のトピックスを紹介する前に、常温核融合を議論する物理について簡単に紹介してゆく方がよいであろうと思う。

常温核融合現象の実験系での共通点を見ると、重水素とPd, Tiのような水素吸蔵金属の2者が浮かび上がってくる。このことから、ここにおいて核反応を担うのは重水素と言うことになり、当初より $d-d=^3\text{He}+n$, $p+^3\text{H}$ なる有名な反応が目され、この生起を説明するに金属内でのクラックの発生に伴う大きな電場の生成によるdイオンの加速(クラフト核融合)というモデルなどが議論された。しかし、 t/n 比の異常性と検出される中性子にはこの反応特有の2.45MeVよりも高エネルギーの方が多いことまた過剰熱との不整合性からこの反応は議論からはずれることになり、特に大きな過剰熱を説明する核反応として $d+d=^4\text{He}^* \rightarrow ^4\text{He}+\gamma(23.8\text{MeV})$ の直接融合反応も議論されたが、反応確率が更に小さいこと $^4\text{He}^*$ の寿命が非常に短いであろうことから、影が薄くなっている。一方阪大高橋等による $d+d+d=d(15.9\text{MeV}) + ^4\text{He}(7.9\text{MeV})$, $t(4.75\text{MeV}) + ^3\text{He}(4.75\text{MeV})$ なる分岐反応が話題の中心となっている。ここでは、解放エネルギーの大きな前者の反応の分岐率が大きく、生成する高エネルギーのdが周囲の物質との衝突で減速する過程で、 $d(15.9\text{MeV}) + d(\text{Pd}_{\text{H}}^{\text{H}}) = n(3\sim 7\text{MeV}) + ^3\text{He}$, $t + p$ と $^4\text{He}(7.9\text{MeV}) + d(\text{Pd}_{\text{H}}^{\text{H}}) = n(1.8\text{MeV}) + \text{H} + ^4\text{He}$ や $t(4.75\text{MeV}) + d(\text{Pd}_{\text{H}}^{\text{H}}) = n(>14\text{MeV}) + ^4\text{He}$ などの核反応が、考えられる。もしこの3d過程が優勢に進むならば、3~7MeVの中性子の検出を説明でき、この3つの素過程を合わせた時の t/n 比は $\sim 10^5$ 、 $^4\text{He}/n$ 比は 10^6 となり、これまでに報告されている異常な t/n 比、微弱な中性子・トリチウムと大きな過剰熱を説明できるという説である。

また、このような3d反応が生起する場が用意できるならば、更に4d過程が生起する確率もでてくるであろうとする議論もある。

このような、議論をベースにするアプローチに関する報告がICCF-IIIでの話題の中心であり本稿でいう最近の話題である。

高エネルギー中性子の検出には、高低パルス状電気分解である高橋方式の確認実験が、筆者のグループとイタリアのグループから報告された。筆者方では、5インチNE-213液体シンチレーション検出系と3本と6本から成る ^3He 計数系をもつ中性子検出系を用いて、パルスモード、電流密度、電極形状、電極予備処理法などをパラメータとする一連の中性子検出実験を遂行し、或る電流密度以上であれば高低パルスモード電解方式で極めて再現性の良い中性子検出を確認している。図-1に高橋等の計測した二つの成分より成る中性子エネルギースペクトルの例を示す。図中に実線で示されている曲線は、図-2に示す多体反応モデルより予測される2成分中性子スペクトルを仮定して、中性子輸送をMCNPコードで計算しO5Sコードによるレスポンス関数を用いて計算されている。計算結果と実測値は良く一致しているとみて良い。

イタリアINFNのBressani等は、1mX1mの巨大NE110を駆使するダブルシンチレータTOF方式で、重水素ガス-Ti, Pd系のいわゆるドライ方式において3~7MeVの中性子を検出している。

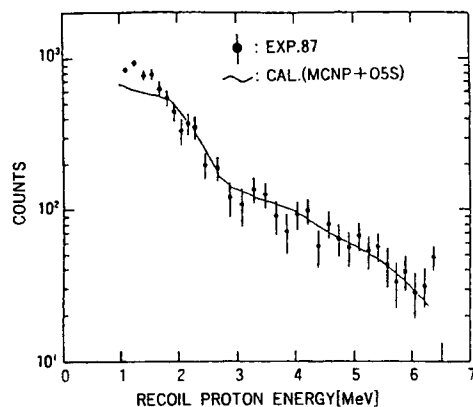


図-1 NE-213による反跳陽子
ベクトル

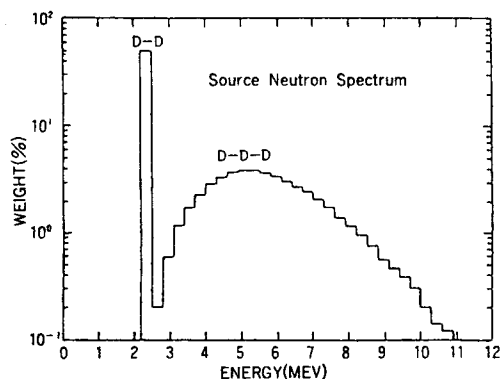


図-2 図-1 中の実線の計算に用いた
中性子スペクトル

粒子検出に関する報告は、NTTによる新聞発表などもあって、最も関心を集めた話題となったが、その中心的議論は上述したように過剰熱の説明を期待できる ^4He の検出にあった。

^4He の検出に関しては、既にコモでのICCF-IIの最後にNWRC+Texas Univ.から衝撃的な発表がなされてはいる。この発表を聴いた参加者は、これで過剰熱の証拠を掴んだとばかり驚喜したと伝えきいているが、前以て会場で入手した彼等の論文は、長年質量分析を手懸けてきている筆者には、評価のしようのないものであった。内容があまりにも文学的であったからである。しかし、この発表が衝撃的であったことは、「過剰熱」にうなされている「熱派」が、如何に多いかを示すことでもある。

ここでは、山口・西岡の実験内容を少し詳細に紹介することにする。彼等は、常温核現象を究めるには発生する粒子の特定が最重要であることから、電解系のように複雑な系を避けて真空法という方式による検証実験を進めている。実験のプロセスは大略以下のとおりである。まずPd片の一面に酸化物皮膜を蒸着し、真空中で加熱して脱ガスした後、真空箱に重水素ガスを50kPaほど導入し、Pd中に重水素ガスを吸蔵させ、試料の反対側に金を蒸着して真空容器中に置く。これに通電加熱で温度勾配を与えて重水素の酸化膜側への移動を促すと、700°C以上の過剰発熱、吸蔵重水素の爆発的放出、試料の2軸性塑性変形の発生の3つの現象が定性的に再現することを見だし、これらが酸化膜のない場合には生じないことも確認して、脱ガス過程が吸熱から発熱に急変する様子を観察した。この際の重水素の試料内分布をX線回折並びにSIMSによってみると、現象発現の直前に酸化膜近傍に重水素の蓄積相の形成を観ている。このようなヘテロ構造を持つ試料を用いた実験で真空容器中に放出される気体の高分解能質量分析を行なったところ重水素吸蔵試料では ^4He の検出を11回中5回確認している。用いた試料の例を図-3に、得られたマスペクトルの例を図-4に示す。図での時

間は、試料をセットし真空容器の排気を行なって $6 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ になってから $5 \text{ A} / 7 \text{ A}$ (50 Hz) で定電流を印加し始めてからの経過時間を示しており、363分ころから507分にかけて、 ^4He の質量(4.0026)に等しいピークが観測されている。この ^4He のピークは重水素を吸蔵させない試料では全く観測されていないし、使用した重水素中には検出限界以下しか含まれていないこと、真空状態での真空容器への流入気体量は完全に無視できることを確認しており、従って反応系から発生した ^4He であり、しかもこれが試料の急激な温度上昇時に発生していることを明らかにしている。またこの ^4He エネルギーが5MeVほどであり、d+dに由来するであろう $\sim 3 \text{ MeV}$ の陽子も検出している。この実験結果の報告がなされた際、幾つかの質問があったが、質問者は発表内容を理解できなかったのか予め用意した質問を読み上げただけかと思われる質問であった。

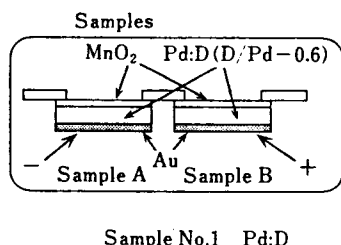


図-3 山口・西山の用いた試料

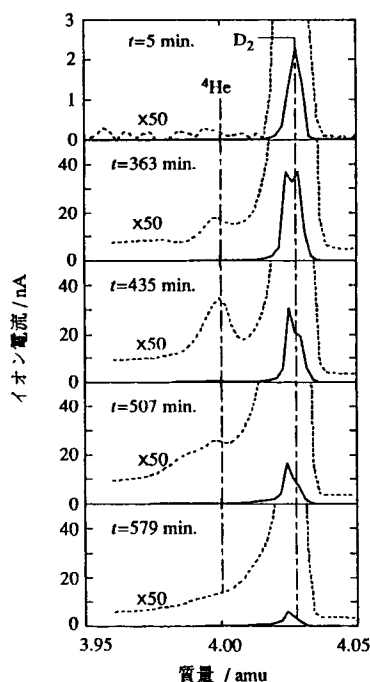


図-4 山口・西山によって得られた
 ^4He マススペクトル

一方多体核反応の検証へのアプローチが、加速器を使って進展しはじめている。その例を以下に簡単に紹介しておく。これは東北大核理研の笠木等によるもので、重水素密度の大きな TiD_x に 150 keV の d を照射する時に放出される陽子を測定すると、そのエネルギーは 1.7 MeV に達し、常識的な d+d 反応では到底説明できない現象を見いだしている。更に得られたエネルギースペクトルを詳細に解析した結果、ごく稀にはあるが異常な量の ^3He が試料中に存在すること、それが Ti への重水素吸蔵時に起こったと推測され、3つのdが関係する2段階の過程を経る逐次反応の存在が予想されるとしている。

多体核反応生起に関する理論的アプローチも盛んになされるようになり、Preparata, Tsarev

そしてHagelstein等による試みが、興味を引いているが実験より一層大胆なアプローチであり筆者には紹介するだけの能力がないので、参考文献を参照されたい。

現象の生起する場所？ 上記した山口・西岡のところでも記述した重水素の異常集積は、電解系でも確認され始めている。筆者等は、SIMSを手段として中性子検出に用いたPd電極の表面分析を行なった。試料は中性子の検出を観たPdと観なかったPdであり、実験後の経過時間は数カ月から2週間とばらばらではあったが、この両者には極めて大きな相違のあることを確認している。幾つかの元素を分析対象としているが、ここではDとLiだけに絞って紹介すると図-5のようになる。

中性子の検出を観た試料での重水素の表面濃度は、観なかった試料(Pd-4)比べて一桁以上高いこと、またより明確に中性子の検出を観た試料Pd-1, Pd-2では濃度分布に構造が現われていることに注目されたい。Pd中に吸蔵された水素は、外力をはずすと比較的容易に放出されるので、この濃度は中性子検出時にはもっと大きかったと考えられる。リチウムを例示したのは、電解系で中性子の検出や過剰熱の検出がなされる必須条件と考えられてきたことによるが、ここでは重水素のプロファイルとリチウムのプロファイルが酷似している点に注目している。すなわち重水素の挙動がリチウムの挙動と強く関係しているということである。このような重水素の異常な集積がこの核現象の生起の場ではないかと議論したが、真空法からもまた阪大飯田等による加速器によるアプローチからもうなずけることである。

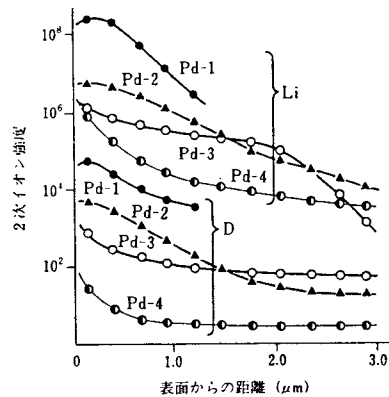


図-5 Pd電極表面でのD, Liの異常集積。
Pd-1~Pd-3は中性子発生を検出、
Pd-4は検出せず。

3：常温核融合研究をどう捉えるか？

以上もっぱら核現象について述べてきた。常温核融合は、過剰熱によって注目を集め、その後のエポックも過剰熱が中心で推移してきている。これはある意味で当然で、世の中はエネルギーに弱いからで常温核融合も高温核融合と同じくエネルギーで売り出していることになる。しかも、核分裂反応という当時は全く荒唐無稽といわれた発想に基づいた「過剰熱」とは逆に、現象の正体が不明のままエネルギーが議論されるところとなっている。核分裂発見より50年、プラグマティックな世の中では至極当然なことかも知れない。しかし、科学の本質が変わった訳ではなく核分裂現象の発見・解明と同じくことは運ばれるべきであろう。過剰熱を如何に精度よく測定しても生起している現象の「シュルエット」を観ているに過ぎないし、現象の機構を知らなければその現象を制御できず、エネルギー源とするにも技術的な高度化も

なし得ないことを認識する必要がある。「核派」と「熱派」のような表現を上では用いたが核も熱も互いに独立した現象ではないことを認識している。熱測定は、場合によっては大変困難であり、ここでの過剰熱測定もその一つである。過剰熱の測定を主としているグループでは精密な熱測定のため実時間で行なえる核計測は、せいぜいγ線計測くらいとなる。そこで高橋等と筆者等は、核現象の検出を主にしながら過剰熱を計測評価する方式を導入し、過剰熱を検出している。これは、反応系に十分な量の冷却材を通し電気入力によって発生する熱を速やかに反応系外に取り出し、一定の電気入力による温度は一定になるように設定する。もしここで電気入力による以外の要因での熱発生があればその分だけ系の温度が上昇する。これを計測する方式で、核現象を計測しながら一定の精度で過剰熱を計測できる。熱に関しては開放系であるので、決して精度が良いとは言えないが過剰熱の検出ということでは十分であろう。過剰熱の詳細については、参考文献を参照されたい。

「熱は、反応の帰結として論じれば十分ではないか」

以上では、dによる核反応現象にのみ絞ってきたが、実は最近「軽水」でも大きな過剰熱が発生するという報告が少なくとも2グループからなされている。北大能戸谷女史のグループは、何度かの公開実験を行なうなど精力的に研究を遂行されているが、軽水系に至ると筆者にはコメントする能力が全くないが、もし事実であれば、Rutherfordの $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$ の検証や Strassmann等の核分裂検証はもちろんd系の常温核現象と全く同様にその正体を明らかにすることが先決であろう。これまでには、室温領域での核反応に関する実験に裏付けされた物理学の知見は無く、せいぜいKraus等によるd+d反応の超低エネルギー領域での分岐比測定への挑戦的アプローチしかないが、それは都合の良い技術が無いことと余りにも小さな確率の現象を追ってみても何もでてこないからで、別に核物理研究者の怠慢ではなく当然至極のことであろう。このように見てみると、この常温核融合騒動で提案された実験系は超超低エネルギー領域核現象の研究に大変便利な実験手段を与えてくれたものと言えるのではないだろうか。少なくともかつて報道されたような金属片を金槌で強打すると中性子が放出されるといった超荒唐無稽な実験手段とは全く別物と思っているが、如何に？ いずれにせよ、反応の正体を解き明かすには反応によって生成する全てのエビデンスを検出・特定する実験事実の積み重ね以外に道はない。貧乏学者には大変だが、科学を楽しむ機会と捉えている。

Cold Fusionという呼称は、Hot Fusionに対称して米国で始まったものであるが、今や実態を表すに適当でないと思っている。さしずめ、[Nuclear Effects in Solid State]あたりが、良いように思っている。

参考文献（文献は多数あるが、本稿に関しては以下の3点で十分であろう）

1. ICCF-III 論文集、エネルギープレス 1993.
2. 応用物理、62巻、7号 1993.
3. エネルギー・資源14巻、3号、1993.