

Submittal to special issue of JCFRS, December 2011

(Extended Review Paper for JCF12 Invited Talk, December 17-18, 2011, Kobe)

常温核融合フロンティア 2011

高橋 亮人

(大阪大学名誉教授、(株) テクノバ)

2011 年 12 月

前書き

常温核融合の研究は、2008 年の拙著「常温核融合 2008—凝集核融合のメカニズム、工学社」で説明した状況の以後、どのような動向となっているかと気にかけておられることと思う。2011 年末の最新の状況を、理論の進展とガス系実験の進展を中心にして、この小論で紹介してみたい。状況を簡単に把握していただくために、前書きに変えて、TEET(熱・電気エネルギー技術財団)の定期出版誌、TEET Review Vol.19 (April 2011) に掲載された著者の小拙文「まだまだ続く常温核融合研究」をそのまま以下にコピーして引用することとした。

夢のクリーン核エネルギー：1989 年はバブル経済や東欧圏崩壊の兆しのもと、地球環境・エネルギー問題がクローズアップされてきた年だった。石油に代わる究極のクリーンエネルギー源はないものか。太陽光発電や風力発電は、炭酸ガスなど地球温暖化の原因とされる排出物を出さないの、持続的自然エネルギーとして期待できる。しかし、発生エネルギー密度があまりにも低いため、人類が必要とする一次エネルギーの 10%ほどをまかなうにも道は遠い。核エネルギー（人工的な一次エネルギー源）は、桁違い（百万倍）にエネルギー密度が高く、CO₂ フリーである。技術が実用のレベルで磨かれている原子力発電の有効利用が期待され、再び新プラント建設のスケジュールが主要各国で話題となっている。しかし、事故時や使用済み核燃料の放射能の生体への悪効果が、処置・克服すべき大きな問題である。熱核融合炉の開発（ITER など）も期待されるが、巨大プラントになることや放射能の問題は残る。コンパクトで放射能のない（非常に少ない）高エネルギー密度の核エネルギー発生原理はないものであろうか。1989 年 3 月のアメリカユタ大学でのプレス発表による大騒ぎから始まり、しばらく世界の追試努力が続いた 1995 年ごろにかけて、マスコミや一部科学界で非常に注目された「常温核融合」は、その可能性を期待させた。しかし、日本では NEDO の NHE（新水素エネルギー）プロジェクトの挫折的な終了により、世間のうわさの片隅へと追いやられた。これがトラウマとなり、その後続く少数研究者群の努力は、資金不足の下での悪戦苦闘となる。

あきらめきれない研究者たち：1990 年のユタでの国際会議（ICCF1=ACF1）に続く常温核融合の国際会議は今後はないだろう、と権威ある科学者たちは予測した。しかし、2011 年 2 月のインドでの ICCF16 にいたる迄、国際会議が 20 年以上続いている。実験研究（追試や独自実験）でポジティブな結果を一度目にした研究者は、未知の重要現象がある気配を感じてしまっていて、容易にあきらめることができない。いるはずがないとされた化石的古代魚シーラカンスを追いかけて、ついに発見した人々と共通の思いがあるのであろう。アメリカ、イタリア、日本、中国、フランス、ロシア、などの“強国”では、少数グループの飽くなき研究がその後、現在に至るまで続いている。また、2011 年 2 月のチェンナイ

での ICCF16 会議を主催したインド、ICCF16 に 6 人の政府調査団を派遣した韓国 (ICCF18 ホスト) が、新たに研究に参加してきた。ICCF17 主催者に内定の米国ミズーリ大学では、イスラエルの **Energetics** 社が移転し、開設された研究所で実験を開始した。最大のチャレンジ “現象の再現性” の向上をめざして、実験条件解明の努力が続く。スーパーウエイブ重水電解法 (再現率 70%)、Pd 重水素共沈電解法 (再現率 100%)、ナノ金属粒子 D(H) ガス吸蔵法 (再現率 100%)、Ni-H 系高温ガス法、などの手法が現在注目されている。

原理・理論はあるのか：1989 年当初から学界権威者より、常温で核融合する物理原理などあるはずがないとされた。100 歩譲ってもしあったとすれば、実験者は発生した中性子線やガンマ線を浴びてみな死んでいるはずである。そのような酷評の下に全面否定された。これは、あったとしても重水素の二体核融合 (DD 反応) しかないと言頭から断定する “勝手な仮定” のせいである。しかし、“シーラカンス” がいると信じる研究者は、さまざまな理論モデルを、多く理論家の数だけ提案・発表している。それは、玉石混交である。大部分は、単に希望的な思い付きを提案しているに過ぎない。たとえば、空気中の窒素 N が 2 個もし核融合すれば珪素 Si が発生して、大量の質量欠損分の核エネルギーが発生するという質量とエネルギー保存 (アインシュタインによる) の等式が成り立つ。しかし、いくら待ってもその反応は起こらないことを読者は御理解のはずである。明日も来年もおそらく一億年後も、空気は Si や硫黄 S (酸素二個の核融合) になって無くなることはない。安心である。理由は、二個の窒素間や酸素間のクーロン反発力 (バリア) に打ち勝って、核融合する距離 (数フェムトメートル) まで二つが近づいて強い核力相互作用する確率があまりにも小さいためである。このように、すべての提案したモデルは、理論を定量化して、実現性を評価しなければ、空論である。常温核融合の理論は、いまだに完成の域に達してないのではなく、定量化の域に達したものが非常に少ないのである。筆者は、20 年以上を費やして、「凝集重水素クラスター核融合 (TSC) 理論」を提案し、物理を数式化して定量的に反応率を評価して、実現性があることを証明した。これは、重陽子 4 個と電子 4 個が 3 次元対称な波動関数配置となって、瞬時に凝縮して 4D 核融合 (多体同時核融合) することにより、中性子やガンマ線を発生せずに大きなエネルギーをクリーン (生成物はヘリウム) に取り出せる、新しいメカニズム (過渡的なボーズアインシュタイン凝縮) の提唱である。凝集系物理 (固体物理・表面物理) の動的な秩序・束縛条件が、重水素クラスターの凝縮運動を量子力学の三次元対称な時間依存の波動関数として実現する。この下で、超ミクロ空間内に閉じ込められた “高温重水素クラスターの核融合” が現出する。ナノ粒子メゾ触媒の表面と内部で、多体重水素核融合が発生する。自然は動的といえ対称性とエネルギーの極小化を好む。しかし、理論家も実験者も、この常温核融合の件では、それぞれに、自分が世界 No.1 になることを目指している。そのせいか、当然のことながら、他所の実験や理論を簡単には認めたがらない。自然淘汰で、本物が最後に生き残るプロセスを踏むしかないのであろう。

ナノ触媒が現象発生の鍵：20年以上の再現性向上の努力は、Pd や Ni などのナノ粒子・表面のナノ（あるいはサブナノ）構造が、現象発現の鍵であるとする見解に収斂しつつある。環境対策で、自動車の排ガス処理に開発された“Pd ペロブスカイト”に似た構造の、二元金属ナノ粒子のメゾスコピックな触媒効果が重水素・軽水素ガスの吸着・吸蔵の異常増加と異常に大きな化学発熱の誘起を進めること、付随して TSC 理論が予見するような重水素のクリーンな核融合反応が起こるらしい。このことを示唆するデータが、神戸大・テクノバグループや米国海軍研などから、このところ発表され、注目されている。ミズーリ大学に移転した旧イスラエルのグループでも、電解法の実験での電極の表面のフラクタルなナノ構造の生成が、入力 of 10 倍以上に及ぶ異常発熱・He 発生の場所と推論している。原理解明の大きな手がかりが得られつつあると思う。デザインしたセラミックスナノ細孔にナノ構造触媒型の Pd や Ni の複合粒子を分散するアイデアが試験用ナノ材料として面白そうである。

新しいクレーム：2008 年の荒田（阪大名誉教授）による、Pd 複合ナノ粒子への重水素ガス吸蔵方式による He 発生と熱発生のデモンストレーション、2009 年のイスラエルの会社の米国 CBS60min 番組での特集放映、2011 年 1 月のイタリアボローニア大学の Ni-H 系実験での入力の 30 倍 12KW 出力のデモンストレーションと、最近に至って、派手な動きが続いている。この世界最古の大学のクレームは、本当に新発見だろうか。すでに、コンパクトな高エネルギー密度のクリーン核エネルギー発生の工業レベル製品売り出しに近い成果だとする、宣伝を行っている。アメリカとイタリアでは今、ブログでの議論が盛んである。ICCF16 会議でも議論されたが、データ間のつじつまが合わず不明な点が多い。実験の中身・事実を、しっかりと確かめなければならない。これらの動きは、大手マスコミの新聞やテレビでは、ほとんど取り上げられていない。一方で、インターネットレベルのブログなどでの情報伝達・議論は、非常に活発である。また、最近アメリカ化学会（ACS）が、環境化学部門の新エネルギーシンポジウムで常温核融合を取り上げて、論文集を数次出版している。2011 年 3 月の第 241 回 ACS 年会でも二日間のセッションが組まれている。一方、物理系の学界は依然として冷淡である。チュニジア革命からエジプトの政権崩壊への波及に見られるように、インターネットの影響は侮れないかもしれないのだが。世界の常温核融合研究グループは、事實は、デモンストレーション派が主流ではない。著者も自負する学術究明派が大部分である。何が現象の真実であり、その現象があるとすればどのような物理メカニズムでの説明が可能なのかが、興味の行動を駆り立てる。しかし、このグループは、自らの成果に対して謙虚であり、マスコミ発表することに抵抗を感じる人が多く、世間の注目を浴び難い。

一方、派手な動きや無理な反応モデルが発現したとする宣伝の方が席卷していて、研究者外のアマチュアの方々のインターネット媒体によるやり取りを通して、一般の人には目に

付きやすい。不正確な情報が多いようである。情報グローバリゼーションの時代では、正しい情報は自分でより分けて取得することを怠れば、非常に恐ろしい。

夢は続く：コンパクトな高密度クリーンエネルギー源への夢は、まだ覚めやらずに続く。大科学技術のジャンル開拓の望みは、少数の人々といえ、維持されている。未知現象の確定やメカニズム解明は、面白い。世界 No.1 への挑戦は、専門外分野への視野の広がり要求进行。勉強になるのである。高温核融合（ITER やレーザーICF）関連研究から、筆者は大学退官後ご無沙汰している。離れて眺めると、こちらも時間がかかって相当に苦労しているようである。 超大予算の巨大国際プロジェクトと無予算の常温核融合の弱小研究。ありようは極端に異なるが、いつの日にかの近い将来に、人類のエネルギー源確保という実利での健全なる競争（市場競争または相互依存）となることを願いたい。少年老い易く学成り難し。天安門事件後の行きがかりで入り込み、なお止まないわたしの常温核融合研究。いつの間にか22年がたった。しかし、この高齢化社会では、70歳を過ぎた研究もまだ許されるのでは。

本レビュー論文を書き上げるにあたり、資料を提供していただいた国際凝集系核科学会の会員の皆様に感謝します。神戸大学の北村晃教授と研究室の皆様には、気相法による（株）テクノバとの共同研究で、この4年間ともに実験し、議論させていただきました。この研究から多くの結果を引用させていただきました。みなさまの成果を私の独断的見解にて、まとめましたことをお許してください。

目次

1. 2008 年以降の動向の概観	7
2. 理論の最新動向	11
2. 1 常温核融合の理論的根拠はあるか(cmns-forum の議論から criteria)	11
2. 2 過渡的 Bose-Einstein 凝縮 (高橋 TSC 理論と Kim の BECNF)	15
2. 3 弱い相互作用の異常増大モデル (W-L 理論、4H/TSC ほか)	35
2. 4 コヒーレント共鳴遷移理論は正しいか (Hagelstein, Chubb)	42
2. 5 二次放射線量解析 (Hagelstein)	44
2. 6 中性子・ポリ中性子が背景? (Fisher, Kozima)	46
2. 7 古典力学モデルには無理がある (Mills, Muelenberg, Heffner, Storms)	47
2. 8 核変換 conjectures の合理性(Miley, Vysotskii, ほか)	49
3.過剰発熱現象	
3.1 ナノ粒子気相系実験の成功と進展(Arata, Kobe, NRL, Colorado)	52
3.2 電解法のその後 (Energetics, SRI, ENEA, SPAWAR)	91
3.3 その他の手法(Narita, Kasagi, Karabut, Mizuno)	100
4.核変換クレームのその後	
4.1 岩村型核変換クレームのその後 (Iwamura, Yamada, NRL)	101
4.2 Ni-H 系の核変換クレーム (Rossi, Piantelli)	104
5.応用・工業化への動向	
5.1 メゾ触媒反応による新水素エネルギー技術	106
5.2 分散型クリーン核融合装置への展望	109
 付録—1 : ICCF15 報告	 110

1. 2008 年以降の動向の概観

2009 年は未曾有の不況で始まった。しかし、常温核融合の研究と取り巻く状況は、新方式クリーンエネルギー源研究開発をにらんだ新たな展開への期待を膨らませる様相を示す年となった。特殊 (Super Wave) 重水電解方式 (液相 D 吸蔵方式) とナノ複合金属粒子を用いる D(H) ガスチャージ方式 (気相吸蔵方式) の両方で、異常発熱現象が繰り返し確認された。小型高密度エネルギー源開発への工学的研究展開の可能性が検討される段階に達した。

また、いわゆる“常温核融合研究”は、より広い分野「凝集系核科学 (CMNS)」に包含されるものであるが、低エネルギー核反応 (LENR) という視野からとらえる向きもある。2009 年度の特徴は、既存の学界での“認知”がようやくにして開けてきた年となったことであろう。特に、アメリカ化学会 (ACS) が、この分野の研究発表を扱う年会のセッションを「新エネルギー技術 (NET) シンポジウム」として環境化学の分科会に設けたことである。2009 年 3 月の Salt Lake City での ACS-NET シンポジウムは、Fleischmann-Pons の 1989 年 3 月の歴史的発表から 20 年を記念しての分岐点となるイベントであった。ACS は、CMNS/LENR 分野の論文集を LENR-Sourcebook Vol.1, Vol.2 としてすでに刊行した。さらに 2009 年度にアメリカ物理協会 (AIP) から、LENR-Sourcebook Vol.3 を出版する予定であった。ところが、ゲラ刷りも出来上がった出版直前になって、急に AIP が明確な理由を述べずに取り消した。遺憾である。この論文集は、JCMNS Vol.4, 2011、に special issue として、ACS 担当者が編集した内容のまま、出版された。アメリカの 3 代マスコミの一角、CBS はその“60 Minutes”特報番組で、“常温核融合の異常発熱現象“発現を声高に肯定する報道を行って、世界的に注目された。続いて 60 Minutes に登場したミズーリ大学副学長 R. Duncan が、同大学で 2009 年 5 月に、CMNS/LENR 緊急セミナーを企画・開催した。同 6 月には、MIT で CMNS/LANR (Lattice Assisted Nuclear Reaction) が開催され、Arata 方式気相吸蔵・発熱実験の追試を行っている B. Ahern の実験装置の見学会もあったようで、それらの動きが目についたところである。

2009 年 10 月には、イタリアの首都ローマで、第 15 回国際凝集系核科学会 (ICCF15) が開催された。イタリア国立代替エネルギー研究所 (ENEA) が主催し、イタリア化学会、イタリア物理学会の両主要学会が後援する形の、ICCF シリーズ会議では初めての、「既存機関・学会の“認知”」を得た研究発表会議となった。付録—1 に詳しく ICCF15 の学術発表内容と関連イベントを紹介した。

既知の化学反応で説明できない過剰発熱現象が、エネルギー源への応用上最も注目される。パラジウムを用いての両方式 (気相法と液相法) による代表的な実験研究結果を、Arata グループと神戸グループによる「ナノ Pd・Zr 複合試料による D ガス吸蔵発熱方式」の最新主要結果、Energetics-SRI-ENEA 連合チームの「Super-Wave 重水・Pd 電解方式」による研究進展、米海軍研 SPAWAR の「D/Pd 共沈殿電解方式」による最新結果、の順に、第 3

章で紹介する。特に、気相方式の異常発熱レベルは、リチウムイオン電池の出力（1グラム当たり）を数倍以上も上回るデータが再現性よく発生することを示していて、工学的研究展開に即つながらる成果として、世界の多くの研究者・会社・研究機関が注目を始めている。荒田型気相方式の研究は、アメリカの海軍研など数か所、イタリア、中国、ロシア、日本での数か所、など多くのグループが展開している。今一番期待されている方向である。

2011年3月11日の東日本大震災による未曾有で壊滅的な津波災害、さらにフクシマ原発4機の地震・津波複合災害事故による炉心メルトダウンから水蒸気爆発に至る「想定外事故」が発生した。広域に至る福島県民の避難生活の長期化と放射能汚染土地の除洗での住民の格闘、原発停止による電力不足対策・住民努力と原発災害補償問題、世界的な経済停滞、なぜか円為替レートの急上昇、などなど、日本はもとより、世界も苦難の時代を迎えた。脱原発による新しいエネルギー大綱を再設定する動きとなっている。自然エネルギー（再生可能エネルギー？）である「太陽光発電」、「風力発電」、「地熱発電」、などのシェアを飛躍的に高めて（現在の1%をこれから20年で20%以上にする？）、“グリーンエネルギー”へと置き換えるように、改変すべしとの声が高まっている。しかし、自然エネルギーは、エネルギー密度が非常に低く天候などにより不安定である上、大規模になれば送電上の問題が生ずる。原発依存を脱却するのは、困難と思える。集中型プラントと分散型エネルギー源のBest-Mixが、現実的な道であろう。そこでは、「高エネルギー密度でクリーンな分散型エネルギー源」の発見と開発が、原理上長期課題として期待される。

本稿で取り上げる「常温核融合」は、そのような中長期R&Dの一つと捉えることができる（図1-1）。

世界の持続的発展には エネルギーがカギである

- 石油:あと50－60年(CO₂地球温暖化)
- 太陽・風力:需要の10%供給が限界
- ウラン(235)原子力:あと50－60年
FBR(Pu)利用:500年以上は可能
(中国・インド台頭)
(核廃棄物処理が問題、**想定外事故**)
- 熱核融合炉:発電炉実現は30年以上先
- 分散型クリーンエネルギー源が理想

高橋:気相常温核融合

2

図1-1: 世界のエネルギー需要とR&Dの単純化したまとめ

2010-2011 年度に、最も進展した成果報告は、「金属ナノ粒子と水素・重水素ガスチャージ法（気相法）」による日米の複数機関からの報告である。特殊な化学反応起源（メゾ触媒効果）と思われる異常に大きな熱発生と異常に大きな D(H)吸蔵率の実現が、100%の再現性で発生するという報告である。発熱量は通常の Pd バルク材料の 10 倍以上である。D(H)吸蔵率は、3.0 を上回りバルク材 Pd の上限値 0.7 を 5 倍ほど上回る。この新しい“化学現象”を蓄熱・エネルギー発生装置開発へ応用することが期待できる。さらに長期展望として重要なのが、重水素実験と軽水素実験の差（同位体効果）が、「常温核融合発生を示唆する傍証」として議論されていることである。重水素系実験での He-4 の大量発生が報告されている。この気相法実験報告の調査とまとめを重点的な報告要素とする。そこでは、今後の急速な進展が期待できる。

一方で、Fleischmann-Pons 以来の伝統の「重水電解法（液層法）」の進展は、緩やかであった。ミズーリ大学に移転した Energetics-Technology 社（イスラエル）の実験研究立ち上げを待つ様子である。

常温核融合や核変換の理論的根拠の提案と進展は、CMNS-forum（国際凝集系核科学会のブログ討論）で、大いに議論された。その結果、各提案理論やモデルの合理性と説明力に対する理解が深まり、有力理論・モデルは意外と少ないことがわかった。また、さまざまなモデル提案の背景の思考における問題点についても議論が深まった。このため、今回の報告では第 2 章において、理論の動向にかなりのページを使って主な理論・モデルを“批判的”に紹介する。物理および化学的基盤と現象のメカニズム解明への視点を整理するのに役立てていただきたい。

核変換クレームは、あまり進展していないが、Ni-H 系実験や生物核変換のクレームが目だった。最近の進展状況を紹介して、批判的なまとめを行う。

世界における研究進展の動向の概観は、この間に行われた国際的な学会発表とジャーナル公刊論文、インターネットでのブログなどの議論を経ての情報交換から、得られる。

図 1-2 に最近の国際会議・ワークショップなどの経過を載せた。ICCF16 がインドで行われたこと、ICCF17 が 2012 年 8 月に韓国の大田（Daejeon）で開催されることが、特に注目される。地球温暖化問題の解決策の手詰まりや、フクシマなどの原発事故による原子力発電プラント利用の後退・撤退の風潮が高まるなかで、新しい分散型エネルギー開発への中・長期の視点が、先進国に続く国々で出てきたことは興味深い。常温核融合・凝集系核科学に関連する新規論文は、国際凝集系核科学会のジャーナル「JCMNS: Journal of Condensed Matter Nuclear Science」に集約的に掲載されるようになってきた。それ以外に、Physics Letters A, Naturwissenschaften, Euro-Physics Journal, Nuovocimento, などにも掲載されている。

アメリカ化学会の 2011 年大会（Anaheim, CA）での、New Energy Technology Symposium (ACS-NET2011)から、主な発表者の写真を、**図 1-3** に載せた。

2009-2012年のおもなイベント

- 2009年3月: ACS2009NET, Salt Lake City
- 2009年3月: JCF9, 静岡
- 2009年4月: アメリカCBSの「60 minCF報道」
- 2009年5月: ミズーリ大学でCMNS/LENR緊急セミナー
- 2009年10月: ICCF15, Roma, Italy
- 2010年3月: JCF10, 八王子
- 2010年3月: ACS2010NET, San Francisco
- 2010年9月: 9th Int. ISCMNS WS Anomaly in M/D, Italy
- 2011年2月: ICCF16, Chennai, India
- 2011年3月: ACS2011NET, Anaheim, USA
- 2011年6月: MITで2日間研究会
- 2012年4月: 10th Int. ISCMNS WS Anomaly in M/D, Italy
- 2012年8月: ICCF17, Daejeon, 韓国

図 1-2: 常温核融合・凝集系核科学関連の最近の国際学会のリスト

ACS-NET2011での発表

2011 ACS Cold Fusion Meeting



図 1-3: アメリカ化学会の 2011 年大会 (Anaheim) での、ACS-NET2011 シンポジュームの主な発表者 (左上より、Miles, 会場、高橋、Oriani, Ludwig, Frizzone, Hagelstein, McKubre, Mosier-Boss, Tanzella, 笠木、(故)S. Chubb)。

2. 理論の最新動向

2.1 常温核融合の理論的根拠はあるか(cmns-forum の議論からの criteria)

常温核融合の理論は様々な提案があるものの、確立したものは無いとする見方が一般にあるようである。しかし、最近の Wikipedia, Wikiversity, 等のインターネット媒体の cold fusion theory, cold fusion explanation, での紹介では、BEC Cluster Fusion Model (Takahashi, Kim), W-L Model (Widom-Larsen), Hydrino Model (R. Mills), などに取り上げられている。一方で、研究者集団のインターネット上の議論 (debate) は、国際凝集系科学会 (ISCMNS) のインターネットフォーラム (cmns-google-group) で、この数年間に喧々諤々の昼夜を問わない (欧米日間の時差の関係で) スタイルで、メール交換が盛んに行われた。しかし、これに参加したのはもっぱら欧米人で、日本人は残念ながら、非常に限られた人数である。語学の壁もあるのであろうが、日本人は、よく言えば奥ゆかしく、批判的に見れば積極性がない (not aggressive)。個々の理論モデルとその問題点の議論の紹介はあとで述べるが、その議論のなかで最近になって、「理論モデル作成作業がクリアすべきクライテリア」について、論者間のコンセンサスが得られている。やや意外な角度から始まって、クライテリアが纏められているので、まずそれを紹介しよう。

図 2.1-1 に思考例題を示す。空気や水の分子を形成する原子核間で常温核融合が起こったと仮定すると、発生エネルギーと生成物の式はこの図のようになる。

Example: You know it's Crazy to say:

- Graphite does transmute to magnesium : $^{12}\text{C}+^{12}\text{C} \rightarrow ^{24}\text{Mg}+Q(13.9\text{MeV: to prompt gamma-rays})$!
- H_2O does transmute to $^{18}\text{Ne}^*(\beta^+)$!
- Air does make nuclear transmutations!
 $^{14}\text{N}+^{16}\text{O} \rightarrow ^{30}\text{P}^*(\beta^+) + Q(22.07\text{MeV:gamma-rays})$
 $^{14}\text{N} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{28}\text{Si} + Q(15.77\text{MeV:gamma-rays})$
 $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{32}\text{S} + Q(16.54\text{MeV:gamma-rays})$
- Since all reactions are exothermic, our world would burn out by cold fusions!

But why so crazy?

図 2.1-1: もし空気や水で常温核融合が起こればこうなるが、なぜそうならないのか

**To propose
 $A+B \rightarrow X+Y + Q(>0)$
is Theory?**

- **No! It's a Primitive Ansatz**
(merely proposing a “crazy” conjecture).
- We need to show that it can really happen to be visible, to take “crazy” out.

**QUANTIFICATION is Key for Theorization,
so far!**

**Without quantification, one would say anything,
but Cannot Conclude Anything definitely.**

図 2.1-2：定量化していない常温核融合の理論は *crazy* で、何とでもいえるが言及していることの信頼度はゼロである。

大変な発熱反応によって、空気はシリコンや硫黄に変わり、地上の生命など無くなっているか死滅しているはずであるが、そうはなっていない。では、図 2.1-1 のような“理論モデル”を提案するのはどこがなぜ間違っているのでしょうか？ 実は、常温核融合・凝集系核現象、核変換に関する理論モデルの提案の多くが、同じ間違いのレベルにありながら、勇ましい結論を強弁しているものが多いのである。間違った強弁の一番の理由は、「量子論を駆使した定量化の作業が欠けている」からである。図 2.1-2 は、この理論化に大切なクライテリアを示している。

量子力学的な数式を駆使して、難しい主張がなされていれば、高級な理論が展開されているのだらうと、思い勝ちである。しかし、10・20 年たっても、それらの理論は完成しない。証明なしに、同じ主張を繰り返すばかりである。そのような“低空飛行”になる理由は、「量子論を駆使した定量化の作業が欠けている」からである。また、「理論の仮定が正当であることを証明できなければ、数式を用いた定量計算は意味がない (Ed Storms) という主張」をする人もいる。これは間違っている (デカルトも言っている)。正しくは、「定量化して理論の帰結を示し、他の確立した理論と矛盾せず、実験結果が予見できる」ことを示さなければ、仮定の正当性を議論できないのである。ES の主張に従うことは、すべての理論的努力を全面否定することにつながり、いつまでも不合理な主観がまかり通ることになり

かねないと思う。

To assert $A+nB+mC \rightarrow X+Y+Z+Q(>0)$
is much more Primitive Ansatz!

- 1) Show how multi-particle simultaneous interaction is possible. **What are sticking forces or confining potentials for nB & mC clusters?**
- 2) Show how to overcome Coulomb Barrier.
- 3) Show how particles can mutually approach in strong or weak interaction range.
- 4) Show how much is strong/weak interaction.
- 5) Show quantitatively the process is plausible.
- 6) Reaction rates by QM math should be given for seriously evaluating your model.**

図 2.1-3: 常温核融合・核変換の理論化・定量化には、このようなクライテリアをクリアしなければならない。過去に提案改良された内の数少ない理論のみが、これらのクライテリアに照らして、有意とみなしうる。

定量化は、最終的には、「量子力学に基づいた核反応率を立式して、数値計算結果により実験クレーム（観測）量レベルの生成量で特定の生成物が発生する道がある」ことを示すことができなければならない。（図 2.1-3 の 6）

そのためには、図 2.1-3 の 1-5) に示すような、クライテリアをクリアしなければならない。それらは、

- 1) 複数の粒子が狭い核反応領域にいかにして同時に存在できるのか？ 複数粒子をその狭い領域に閉じ込める器（ポテンシャルの井戸）は何で、どのように生まれ、深さと広がりはどのようなか？ 粒子間に働く接着力は、何か？
- 2) 粒子間のクーロン反発力は、どのようにしてどの程度克服されるのか？
- 3) 複数粒子は、いかにして核反応領域（強い相互作用、弱い相互作用）にお互いに近づけるのか？
- 4) 強い相互作用または弱い相互作用の度合いはいくらか？
- 5) 以上を各物理過程により数式化して、数値計算結果で示せ。

さらに、理論モデルにより、二次反応や連鎖反応により異常発熱や核変換が起こるとする主張がある。そこでも図 2.1-4 に挙げるように、定量化の要請がある。

Reaction rates by QM math should be given for seriously evaluating your model.

- If reaction rates are very small as 10^{-50} per s per A+B process, it is not visible or detectable. If 10^{-23} , we may start to detect (considering Avogadro number of A+B pairs possible).
- If reaction ratio (multiplication factor) per primary particle in a “chain reaction” is less than 0.1, gain of total chain reaction is less than $1.0/(1.0-0.1)=1.1$ only. If the ratio is 0.9999, gain is 10,000. If the ratio is 1.1, gain is infinite (micro explosion).
- So that conclusions are drastically different, from “nothing” to “explosion”, depending on magnitudes of reaction rates.

図 2.1-4: 二次反応・連鎖反応モデル理論に対する定量化の要請

凝集系物質の原子密度がアボガドロ数のオーダー (10^{23}) であることを考えると、ペアまたはクラスター当たりの核反応率は、 10^{-23} 毎秒以上にならないと観測にかかるのは難しい。さらに、1w/cc の発熱となると、反応率は 10^{-11} per cluster/s のレベル以上となることを示さねばならない。(ところで、図 2.1-1 に挙げた反応は、地上での常温反応率は、 10^{-10000} よりも少ない、事実上のゼロである。人類の生存にとっては幸いである。)

連鎖反応が有意に続くためには、 $\text{<実効的増倍率>} = \text{<連鎖反応粒子生成率>} / \text{<連鎖反応粒子消滅率>}$ 、が 1.0 を少し上回る必要がある。原子炉の中性子連鎖反応では、そのような $k\text{-eff} > 1.000$ の条件を実現し反応レベルが一定となるように制御している。普通の核反応で発生する陽子やアルファ粒子の場合、一次線として発生後に凝集物質中を電離・衝突を繰り返して減速するが、減速過程で二次核反応を起こす率は 10^{-6} から 10^{-8} 程度である。

すなわち、 $k\text{-eff} = 0.000001$ 以下、 $\text{gain} = 1/(1-10^{-6}) = 1.000001$ 以下である。これは、実質的には二次反応以降での連鎖反応は期待できないことを意味する。すなわち、 $k\text{-eff}$ を与えない連鎖反応理論は無意味ということである。(ポリ中性子論や中性子触媒核反応論は、後で述べるようにその例である。)

次に、核反応の妥当な扱いには、図 2.1-5 に示す三過程（初期状態相互作用、中間複合核状態、終状態相互作用）を具体的に（陽に）扱わねばならない。この当然扱うべき過程も、多くの理論・モデルの論文では、無視されるか、話がそこまで及んでいないようである。

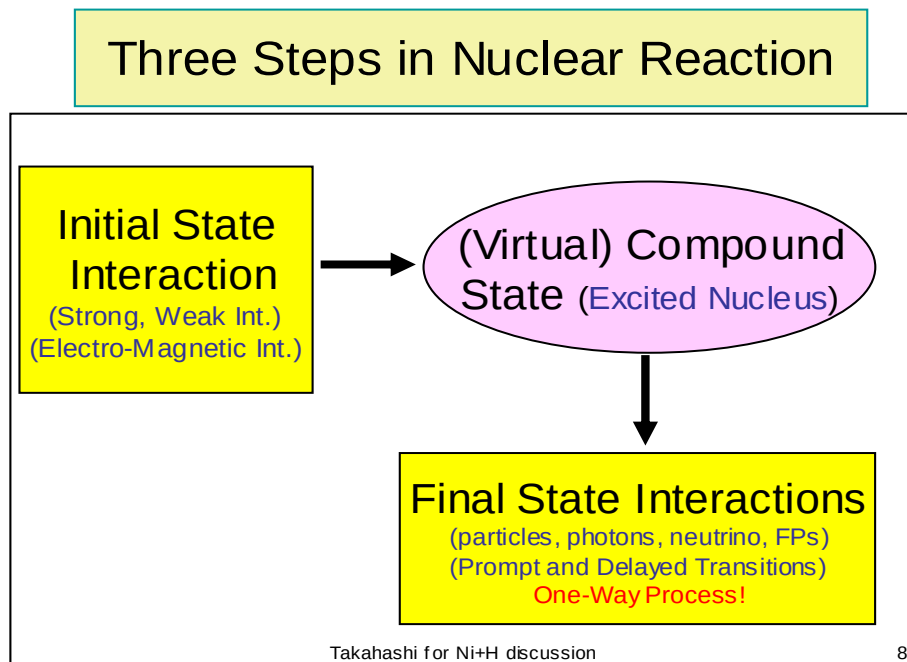


図 2.1-5: 理論では核反応の三ステップを具体的に扱う必要がある。

かくして、Hagelstein, Chubb-Chubb, Li, Muelenberg, Heffner, Miley, Focardi などのモデルでは、核反応（強い相互作用）を陽に扱っていないものや、ステップを飛ばしたものばかりで、真剣に取り上げる段階に至っていない、という評価が出来よう。

重陽子起源の常温核融合を論ずる理論のうち、これらの厳しいクライテリアをクリアしつつあるものが、過渡的な BEC (Bose-Einstein 凝縮) 凝縮体クラスターの生成と多体核融合の理論 (Takahashi, Kim) で、次に紹介する。Widom-Larsen の弱い相互作用に基づく Ultra-Cold-Neutron の生成とその二次反応の理論モデル、も定量化の努力がある。しかし、物理過程に根本的な問題があるので、その次に取り上げる。他の理論は、定量化以前の域にあるので、簡単に考え方を紹介し、若干の批判を記することとする。

2.2 過渡的 Bose-Einstein 凝縮（高橋 TSC 理論と Kim の BECF）

2.2.1 高橋 TSC 理論：

Akito Takahashi らは、重水素クラスターの凝集核融合理論（TSC 理論）を 22 年来改良展開している。最近、JCMNS 誌に総合レビューを書いている[2.2-1]。また、アメリカ化学会出版の論文集本に、TSC 理論の量子論的 Langevin 方程式による展開の 2 論文を書いている[2.2-2, 2.2-3]。高橋は、cmns-forum への資料として、核融合反応粒子の運動エネルギーと不確定性原理の観点から、「常温核融合の原理」として、TSC 理論のエッセ

ンスを、ACS の 2 論文の結果を再編成して纏めている(JCF12 で 2 論文を発表、また、実験結果の説明と絡めて、理論の招待講演を行った)。なぜ常温の金属重水素系で常温核融合が起こりうるのかの物理メカニズムを考えるうえで基本となると思われるので、その資料を用いてまず、説明してみよう。

問題の答えの要点を纏めて、図 2.2.1-1 に示す。

常温核融合原理：要旨

- 常温の金属固体の表面や内部で重水素の核融合反応を増加させるためには、d-d間の相対運動エネルギーが高温プラズマ核融合の場合と同程度(約 10keV)に上昇する必要がある。
- 常温の金属固体の表面や内部で、重水素クラスターを閉じ込める動的な(時間依存の)ポテンシャルが形成できる。超マイクロ空間での重水素クラスターの瞬時閉じ込めが、原理である。
- この条件は、量子論のHeisenbergの不確定性原理の要請である。
- 瞬時的に閉じ込められた“高温”重水素クラスターは、閉じ込めポテンシャルの外に対しては、ガス中の分子のようにふるまうので、重水素吸着・吸蔵金属固体を高温にして反応を誘起する必要はない。

図 2.2.1-1: 高橋 TSC 理論での常温核融合原理の見地

要点はつぎのようである。プラズマ核融合の超高温状態での重陽子の keV 領域の運動エネルギーは、トカマクのような磁気ビンの巨大容器に高温の DD (DT) プラズマを閉じ込めて達成する。一方で、凝集系の常温核融合は、正四面体凝縮体 (Transitory BEC) 4D/TSC のような超マイクロ空間に出来る過渡的な凝縮ポテンシャルに 10keV 程度の運動エネルギーをもつ重陽子クラスターを閉じ込めて達成する。核融合を起こす実効的な重陽子の相対運動エネルギーでくらべれば、高温プラズマ核融合 (hot-fusion) と常温核融合 (cold-fusion) は、条件が似たようなものであることになる。しかし、高橋理論では、クーロンバリアを克服して、核反応にいたる条件は二体の DD 反応では見出せず、4D/TSC の時間依存凝縮過程の終盤のごく短時間 (10^{-20} 秒のオーダーの間隔) で凝集系の秩序・束縛条件を出発点として達成できる。生成物は He-4 で、中性子発生は二次反応となり無視できるくらいの低レベルである。一方で、hot fusion は、プラズマ中でのランダムな粒子運動で生ずる衝突過程に基づいている二体反応(DD, DT など)の過程である。

図 2.2.1-2 に高温プラズマ核融合 (Hot-Fusion) の物理を簡単に纏めている。

高温プラズマ核融合の場合

- トカマクのような大容積の磁場ビンに重水素の高温プラズマを閉じ込める。
- ITERはd-d(d-t)反応の平均相対粒子エネルギー(温度)で**10keV** (E_k)を目指している。
- **<マクロ核融合反応率> = < $N_d(E_k)^2 v \sigma_{dd}(E_k)$ >**

N_d : 重陽子密度, V : d-d 相対速度,

$\sigma_{dd} = (S(E_k)/E_k) \exp(-\Gamma_{dd})$: 断面積,

E_k : d-d 衝突の相対運動エネルギー

Γ_{dd} : ガモフ因子 Gamow factor

- 自由でランダムな衝突過程:

$N_d(E_k) = N \cdot (E_k/T^2) \exp(-E_k/T)$: Maxwell-Boltzmann 分布

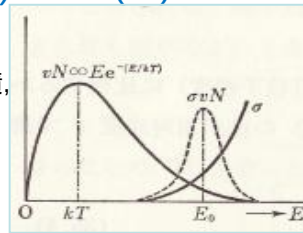


図 2.2.1-2: 高温プラズマ核融合の基本物理。高エネルギー側 (E_0 付近) の Gamow-Teller ピーク付近で核融合反応が発生する。プラズマ温度は kT 。

常温核融合: 超マイクロ空間への重水素クラスターの閉じ込め

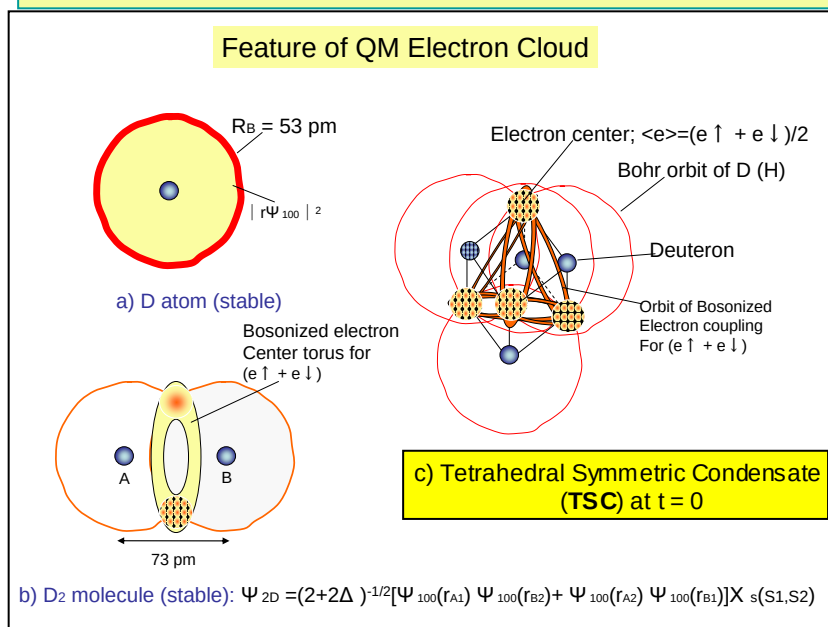


図 2.2.1-3: 常温核融合を起こすタネ 4D/TSC と D 原子、 D_2 分子の波動関数の様子イメージ図。

一方で、D 系の常温核融合は、D₂ 分子型の二体系での発生を定量理論化できた例は、ミューオン触媒核融合を除くと、通常の金属水素・重水素プラス電子の凝集系では今まで
のところ無い。 TSC 理論は、4 個の電子と 4 個の重陽子を作る（過渡的な）直交した波動関数場（それが TSC）で初めて強い核力相互作用レンジ（数 fm）まで瞬時凝縮（約 1.4fs の凝縮時間）するクラスター(4D)が TBEC(Transitory Bose-Einstein Condensate)として生ずることを示した。初期(t=0)での 4D/TSC の電子波動関数の様子を D 原子、D₂ 分子のそれと比較して図 2.2.1-3 に示す。

さて、定量化が理論化のエッセンスであることを前節で述べた。TSC 理論での核融合率は、図 2.2.1-4 に示すように、Fermi の第一黄金率での立式[2.2-4, 5]を基に計算する。

核融合率計算にはD-クラスターの時間依存のクーロンバリア透過率の積分が必要

Using Fermi's golden rule(8), fusion rate is obtained by,

$$\lambda_{nd} = \frac{2}{\hbar} \langle W \rangle P_{nd}(r_0) = 3.04 \times 10^{21} P_{nd}(r_0) \langle W \rangle \quad (32)$$

Here <W> value is in MeV unit.
 Calculated barrier factors for atomic dd molecule, and also for EQPET dde*(2,2) molecule, respectively.

The imaginary part of optical potential <W> for effective interaction, namely fusion, is estimated by the empirical rule for PEF (pion exchange force number) values(8), and given in Table-III. Fusion rates are shown in Table-IV. Here we used the following relations between astrophysical S-value S_{nd}, T-matrix for the effective interaction Hamiltonian of nuclear fusion T_n and pion-exchange number PEF, in <W> estimation(8).

$S_{nd} \propto T_n^2 \propto (PEF)^{10}$
 $T_n = \langle W \rangle \propto (PEF)^5$

Charged Pion Exchange (Isospin/Spin)
 Can be scaled by PEF-value, empirically.
 Astrophysical S-values are estimated for Multi-body hadronic interactions.

And we used known S-values at E_d=0 and <W> values for DD¹⁶⁾ and DT reactions, as reference values.

PEF: derivative of One-Pion-Exchange-Potential

強い相互作用:核力

クーロン相互作用:電磁力:トンネル効果

図 2.2.1-4 TSC 理論での核融合率の計算式。時間依存のクーロンバリア透過率（核力相互作用のレンジ、数 fm、内にある外部クーロン場でのクラスター自乗波動関数の成分）の計算、強い核力多体相互作用の核内核融合率：(4π/h)<W>：の計算が必要である。

時間依存のクーロンバリア透過率の計算は、Langevin 方程式によるクラスター粒子間の時間依存の距離変化の計算と、“重質量化ボソン化電子対”つき DD 仮想分子（HMEQPET）のポテンシャル（時間依存が質量依存に一体一に置き換えられる）を用いた Gamow 積分の実行により、行なわれた[2.2-2]。

強い相互作用の複素光学ポテンシャルの虚数成分期待値<W>を多体核融合についても見積もらねばならない。一パイオン交換ポテンシャル(OPEP):図 2.2.1-5,6:を基本にして、相対核融合の接着力を PEF 単位で表す。DD 反応、DT 反応の PEF と<W>の関係を用いて、大きな PEF 値へと外挿して多体核融合の<W>値を見積もった。[2.2-2, 2.2-5]

One Pion Exchange Potential and PEF

One Pion Exchange Potential (Hamada-Johnston Potential)

$$V_{OPEP}(x) = v_0 \cdot (\vec{\tau}_1 \cdot \vec{\tau}_2) \left\{ \vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2 + \left(1 + \frac{3}{x} + \frac{3}{x^2}\right) S_{12} \right\} \frac{\exp(-x)}{x}$$

Minus for p-n; fusion

$$x = \frac{m_\pi c}{\hbar} r = \frac{r}{1.43} [fm] \quad \text{Yukawa Potential} \quad Y(x) = \frac{\exp(-x)}{x}$$

$$v_0 = \frac{1}{3} \frac{f^2 m_\pi c^2}{\hbar c} = 3.65 [MeV] \quad S_{12} = 3 \frac{(\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{r})(\vec{\sigma}_2 \cdot \vec{r})}{r^2} - \vec{\sigma}_1 \cdot \vec{\sigma}_2$$

$$\langle OnePEF \rangle = - \frac{\partial \langle V_{OPEP}(x) \rangle_{\tau, \sigma}}{\partial r} = - \frac{1}{1.43} \frac{\partial \langle V_{OPEP}(x) \rangle_{\tau, \sigma}}{\partial x}$$

図 2.2.1-5: 二核子間の強い相互作用の *One-Pion-Exchange Potential*。核子 n - p 間ではアイソスピン演算子 $\tau_1 \cdot \tau_2$ の固有値はマイナス 3 で引力が働く。一方で、 p - p , n - n 間では、 $\tau_1 \cdot \tau_2$ の固有値はプラス 1 であり、斥力となる。引力の場合を $PEF=1$, 斥力の場合を $PEF=0$ と定義する。

D-D Fusion: Strong Force vs. Coulomb Force

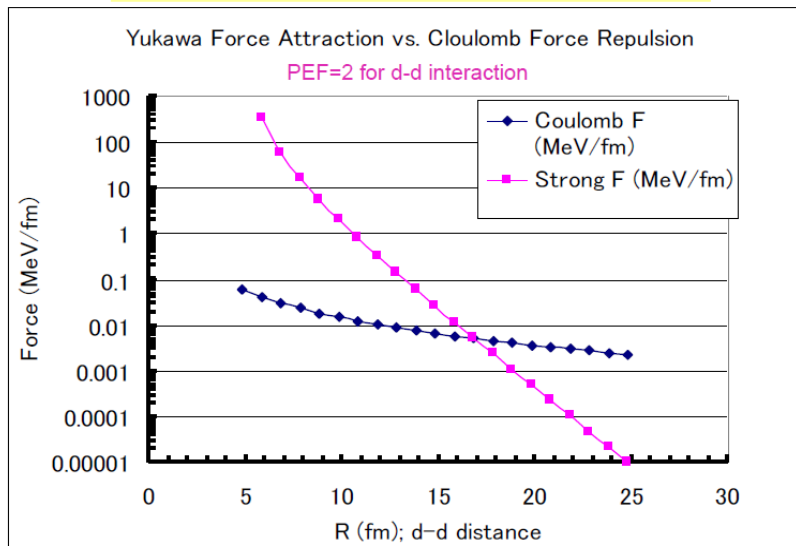


図 2.2.1-6: d - d 間の強い相互作用による引力 ($PEF=2$) とクーロン斥力の比較。接触面 ($R=5fm$) では、引力 (核融合力) が 4 桁大きい。 $R>15fm$ で斥力が勝る。

ACS2007

時間依存のバリア透過率は、d-d間距離を短縮した仮想dd分子 (EQPET分子) のバリア透過率に、一対一に対応する。

Table-II: Calculated barrier factors for 2d-pair and 4d-cluster under TSC condensation

	$R_{dd}=R_{gs}$ (pm)	P_{2d} ; 2D Barrier Factor	P_{4d} ; 4D Barrier Factor
t=1.400fs	0.0206 (TSC-min)	4.44E-2	1.98E-3
	0.0412	1.06E-2	1.12E-4
	0.103	1.43E-3	2.05E-6
	0.206	3.35E-5	1.12E-9
	0.412	9.40E-7	2.16E-13
t=1.398fs	0.805 (μ dd): muonic dd	1.00E-9	1.00E-18
	1.03	9.69E-11	9.40E-21
	2.06	6.89E-15	4.75E-29
	4.12	9.38E-21	8.79E-41
	10.3	2.16E-32	4.67E-64
	21.8 (dde*(2,2))	1.30E-46	1.69E-92
t=0	74.1 (D2 molecule)	1.00E-85	1.00E-170

図 2.2.1-7: TSC 凝縮時間と d d 間距離、バリア透過率の計算値

1.4fs の凝縮時間の途中 1.398fs に、ミューオン付 dd 分子と等価な状態を経過している。凝縮の最後の約 2×10^{-20} 秒の時間で、バリア透過率が非常に増大してしている。

ACS2007

定常的(仮想)分子・クラスター核融合率の計算値

Table-IV: Fusion rates calculated by Fermi's golden rule (Eq.(32))

Molecule	$R_{dd}=R_{gs}$ (pm)	P_{nd} ; B- Factor	$\langle W \rangle$ (MeV)	λ_{2d} (f/s)	λ_{4d} (f/s)
D_2	74.1	1.0E-85	0.008	<u>2.4E-66</u>	
<u>dde*(2,2)</u>	21.8	1.3E-46	0.008	<u>3.16E-27</u>	
<u>udd</u>	0.805	1.0E-9	0.008	<u>2.4E+10</u>	
<u>4D/TSC-</u> <u>min</u>	0.021	1.98E-3	62		<u>3.7E+20</u>

TSCの時間依存凝縮では、最後の 2×10^{-20} 秒でほぼ100%の核融合が起こる

$$\int_0^{t_c} \lambda_{4d}(t) dt = 1.88 \times 10^{23} \int_0^{t_c} P_{4d}(r_0; R_{dd}(t)) dt \quad (37)$$

$$\int_0^{t_c} P_{4d}(r_0; R_{dd}(t)) dt = 2.31 \times 10^{-22} \quad (38)$$

図 2.2.1-8: 定常状態を仮定した場合の各分子とクラスターの核融合率の比較

図 2.2.1-8 に、定常状態の分子やクラスターの存在を仮定したときの核融合率の計算値を示す。ミュオン付 DD 分子は、ミュオンの寿命は $2.2 \mu\text{s}$ であるが、DD 核融合は約 100ps 内に 100%起こるので、ミュオンは開放されて新しいミュオン付 DD 分子を形成して、しばらく連鎖反応する。しかし、 $2.2 \mu\text{s}$ の寿命で連鎖反応は終わる。4D/TSC は、約 2×10^{-20} 秒の間に 100%4D 核融合する。2D 核融合率は無視できる。

さて、4D/TSC での核融合における重陽子の相対運動エネルギーがどの程度となるか興味がある。比較のため、 D_2 分子、 DD_μ 分子での重陽子の相対運動エネルギーを見積もって比較する。図 2.2.1-9 に見積もりに用いた量子力学の変分原理による手法の流れを示す。

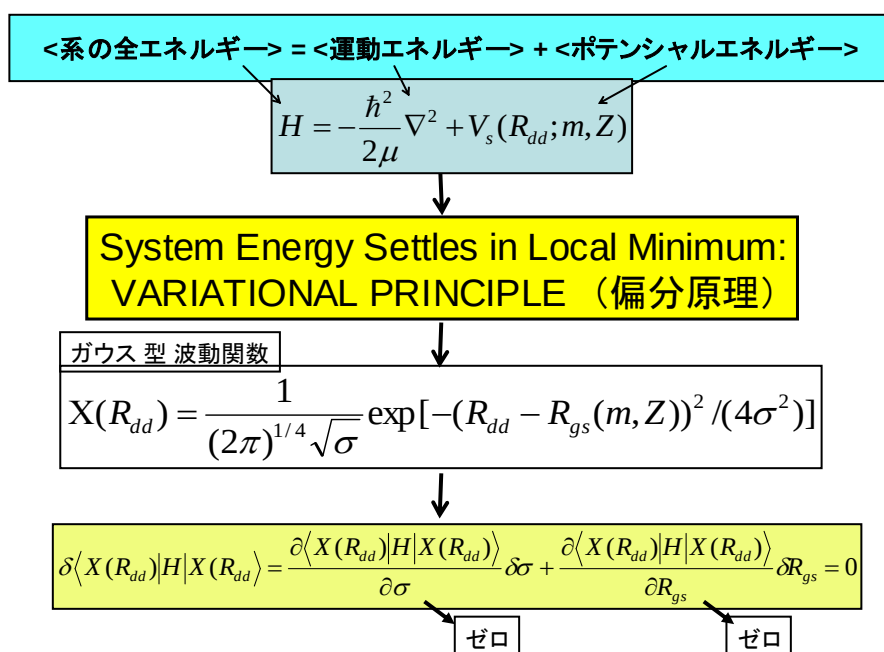


図 2.2.1-9: 変分原理による期待値 (ブラケット積分) 計算の手法。

ここでは、重陽子 (または陽子) ペアの波動関数がガウス分布で近似できると考えて、最適な分散パラメータ σ と最小基底状態エネルギー E_{gs} (対応する d-d 核間距離 R_{gs}) を、系の全エネルギー (Hamiltonian のブラケット積分) が極小となるように決定する。

系に重陽子 (または陽子) のペア (またはクラスター) を閉じ込めるポテンシャルの数式をモデル化してまず与える必要がある。 D_2 分子のポテンシャルは原子物理の標準教科書 (たとえば、[2.2-6]) に与えられている。(教科書の数式には結構誤植があるので、使用の際には自分で導出して間違いが無いかな確かめることをお勧めする。たとえば、この文献の(10.2.35)式のカッコ内の二番目のマイナス符号は+符号の誤り。) DD_μ 分子のポテンシャルは、EQPET 分子の $e^*(54,2)$ の式で代用できる [2.2-4, 2.2-7]。TSC 閉じ込めの

時間依存ポテンシャル[2.2-2-5]は、図 2.2.1-10 に数式を示す。

TSC 凝縮運動の Langevin 方程式:

$$6m_d \frac{d^2 \langle R_{dd} \rangle}{dt^2} = -\frac{11.85}{\langle R_{dd} \rangle^2} - 6 \frac{\partial V_s(\langle R_{dd} \rangle; m, Z)}{\partial \langle R_{dd} \rangle} + 6.6 \left\langle \frac{(R' - R_{dd})^2}{R_{dd}^4} \right\rangle$$

中心凝縮型
クーロン力

電子雲による
摩擦力

プラトン対称から
外れる力

TSC 閉じ込めポテンシャル:

$$V_{\text{tsc}}(R'; R_{dd}(t)) = -\frac{11.85}{R_{dd}(t)} + 6V_s(R_{dd}(t); m, Z) + 2.2 \frac{|R' - R_{dd}(t)|^3}{[R_{dd}(t)]^4}$$

図 2.2.1-10: TSC 凝縮運動を扱う QM-Langevin 方程式と時間依存 TSC 閉じ込めポテンシャルの数式。TSC ポテンシャルは、HMEQPET ポテンシャルに近似的に置き換えることができる[2.2-2-5]。

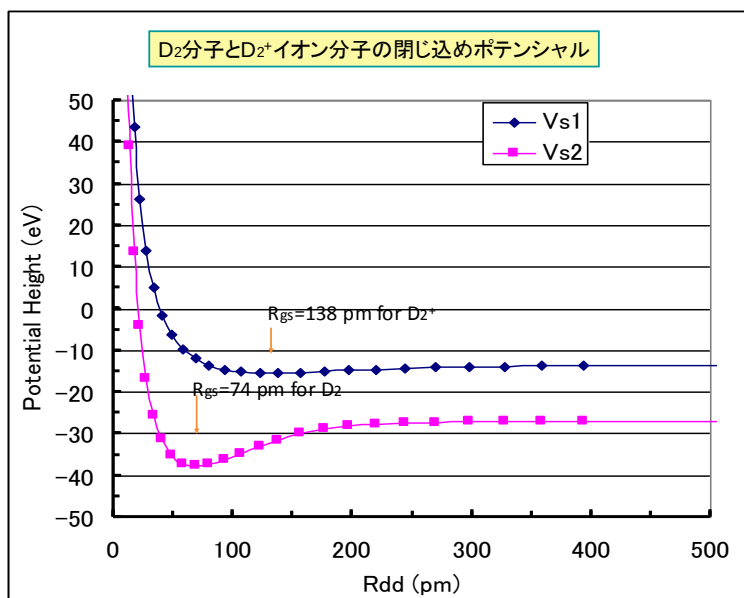


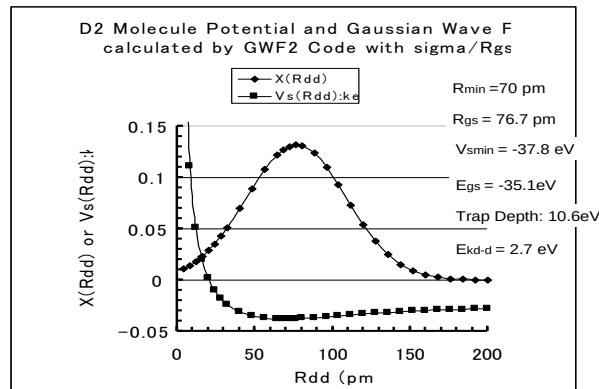
図 2.2.1-11: D₂⁺イオン(*d-e-d* または *p-e-p* の三体系)と D₂分子 (*d-e-d-e* の4体系) の閉じ込めポテンシャルカーブ。R_{gs} は、基底状態核間距離を示す。

D₂⁺イオン分子と D₂ 分子の閉じ込めポテンシャルを図 2.2.1-11 に示す。

さて、変分法による計算結果を D₂ 分子と DD_μ 分子についてまず示す。

図 2.2.1-12 は、D₂ 分子のポテンシャル、波動関数、基底状態の期待値（核間距離、相対運動エネルギー、など）を示す。

D₂ 分子の場合: d-d pair の平均運動エネルギー: 2.7 eV



観測不可
可能な反応
量である。

$$\lambda_{nd} = \frac{2}{\hbar} \langle W \rangle P_{nd}(r_0) = 3.04 \times 10^{21} P_{nd}(r_0) \langle W \rangle$$

$$\langle \text{Fusion Rate per Molecule} \rangle = 2.4 \times 10^{-66} \text{ f/s}$$

図 2.2.1-12: D₂ 分子の閉じ込めポテンシャル、波動関数、基底状態の粒子の平均相対運動エネルギー (E_{kd-d}) = 2.7 eV と dd 核融合率。

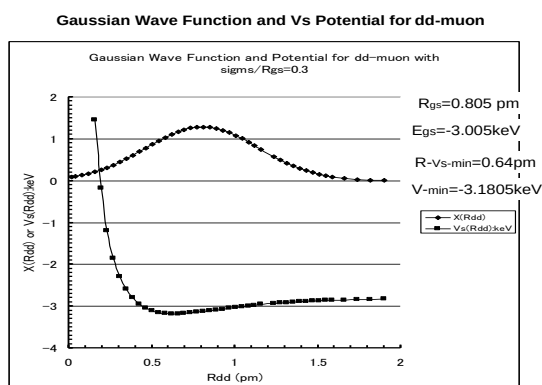
閉じ込められた重陽子の平均相対運動エネルギーは、2.7 eV である。室温の D₂ ガスの平均運動エネルギーは、 $kT = 0.025 \text{ eV}$ であるから、2.7 eV はずいぶんと高温 (32,400K) である。しかし、重陽子は、閉じ込めポテンシャルの中のみ存在するので、外部の“気温”と断熱されていて、相互作用することは無い。(見方を変えれば、3 万度あまりの高温 D プラズマのマイクロペアは、分子閉じ込めポテンシャル (クーロン相互作用＝電磁力による) により、100pm ほどのマイクロ空間に閉じ込められている。トカマクプラズマは、数メートル径の磁気トラスに閉じ込めるので、スケールは桁違いに大きいですが、トカマク装置の外側とは断熱されていて、外部室内気温と相互作用しない。D₂ 分子とトカマクプラズマの閉じ込めは、DD ペアの相対運動レベルというマイクロ空間では、同等なのである。しかし、D₂ 分子の DD 核融合率は、Fermi の第一黄金率[2.2-2-5, 2.2-8]で計算できるが、 $2.4 \times 10^{-66} \text{ f/s}$ でアボガドロ数 (一モル = 6.023×10^{23} 分子) を掛けても、 $1.4 \times 10^{-62} \text{ f/mol/s}$ でしかない。これは地球の寿命 (= 太陽の燃え尽きる時間) の約 10 億年 (=

3.16x10¹⁶ 秒) で確率 4.4x10⁻⁴⁶ で一個 DD 反応するという計算となる。これは、事実上人間にとって“ゼロ”という意味である。

物理として、もうひとつ大切なことがある。D₂ 閉じ込めポテンシャルの中で、重陽子の運動エネルギーが2万度以上に増大する理由である。閉じ込めるということは、ポテンシャルマイクロ空間内に波動関数が“ほぼ”100%閉じ込められていて、外部への漏れ(透過率)は非常に小さく無視できるということである。この背景には、用いた **Schroedinger** 方程式を導出した原理、すなわち **Heisenberg** の不確定性原理による本質的な“量子力学による縛り”がある。ドブロイ波長と運動エネルギーの関係をみると、わかりやすい。D₂ 閉じ込めポテンシャルの中で、ドブロイ波長は変分原理を満たすように短くならねばならない。すると、不確定性原理により運動エネルギーが増大しなければならないのである。DD_μ 分子でも、時間依存の非線形な TSC 凝縮運動中でも、「Heisenberg の不確定性原理による本質的な“量子力学による縛り”」は、厳格に働く。

DD_μ 分子の場合を、図 2.2.1-13 に示す。

ミュオン付の d-d 分子の場合: d-d pairの平均運動エネルギー: 180 eV



1ナノ秒以下で、DD核融合して、ミュオンは次の dd_μ 分子形成

$$\lambda_{nd} = \frac{2}{\hbar} \langle W \rangle P_{nd}(r_0) = 3.04 \times 10^{21} P_{nd}(r_0) \langle W \rangle$$

$$\langle \text{Fusion Rate per Molecule} \rangle = 2.4 \times 10^{10} \text{ f/s}$$

図 2.2.1-13: ミュオン付 DD 分子の閉じ込めポテンシャル、波動関数、重陽子相対運動エネルギー ($E_{kd-d} = E_{gs} - V_{-min} = 180 \text{ eV}$) と DD 核融合率。

DD_μ 分子の重陽子の相対運動エネルギーは、180 eV (216 万度 K)に閉じ込めポテンシャル内では増大する。DD 核融合率は、2.4x10¹⁰ f/s/pair と極度に増大する。約 100ps で DD 核融合が 100%起こり、D + D → n + ³He + 3.25MeV: p + t + 4.03MeV のブランチにより、2.45MeV 中性子や 1MeV のトリトンが発生する。ミュオンの寿命は、2.2 μs だが、DD

**TSC の凝縮運動:
非定常状態＝時間発展凝縮**

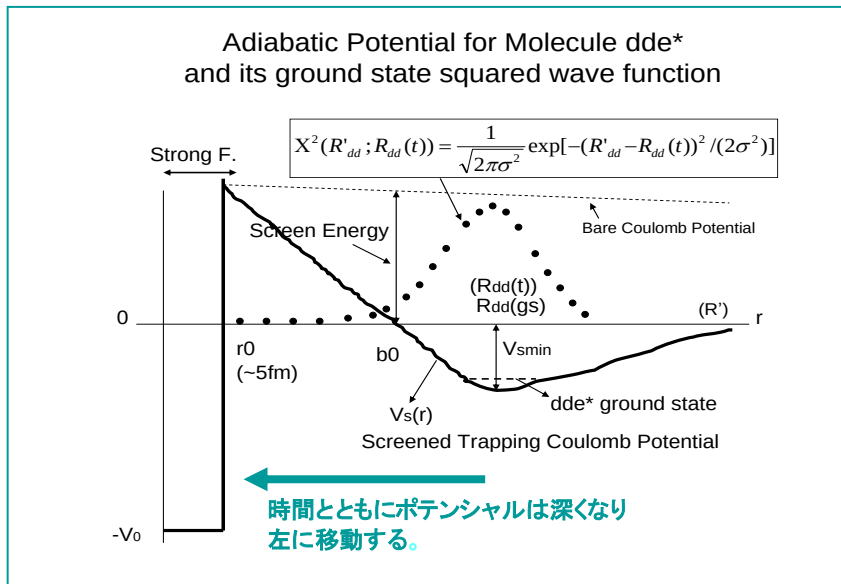


図 2.2.1-14: TSC 理論の時間依存ポテンシャルのイメージ。

TSC 閉じ込めポテンシャルの中心値 (at $R' = R_{dd}$)

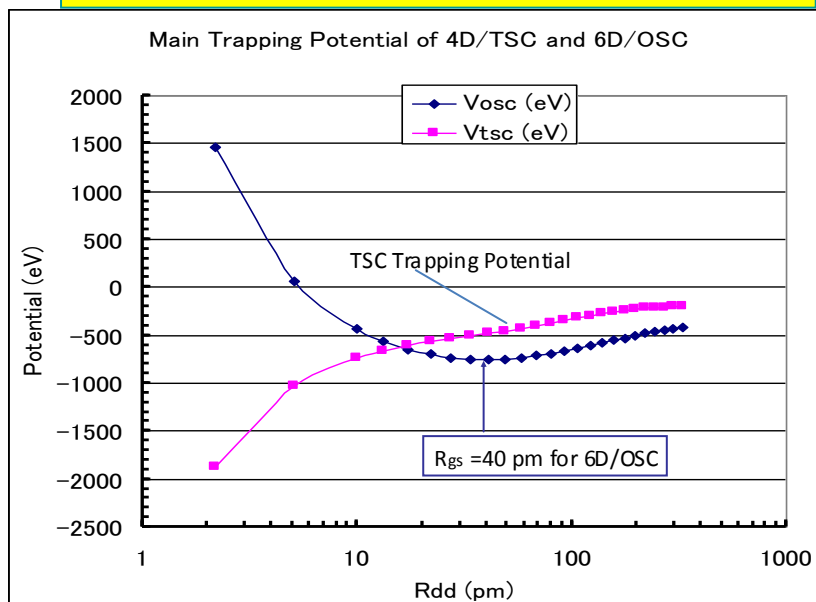


図 2.2.1-15: TSC ポテンシャルの谷底 (中心値) の変化は、安定基底状態 (6D²/OSC で存在する) を持たず、とことん電荷中性の entity としてマイクロ空間へと凝縮する。

μ の寿命は、100ps 程度と非常に短い。(開放された μ は、他の DD に取り付いて、 $2.2 \mu s$ の寿命の終わりまで、 μ 触媒核融合の連鎖を起こす。エネルギー取り出し装置への原理のように見えるが、加速器でミューオンを大量に作る膨大なエネルギーを考えると、正味のエネルギー利得が達成できるような工学装置は無理であろう。)

さて、TSC 凝縮運動での時間依存のポテンシャルは、核力のポテンシャルも加えて描くと、図 2.2.1-14 のような形で、時々刻々その“谷底”（断熱的な仮想基底状態）が左下へと移動する。

TSC ポテンシャル (図 2.2.1-10 の第二式) の谷底 ($R'=R$) での値は、図 2.2.1-15 に $6D^2/OSC$ のポテンシャルと比較して示すように、安定基底状態を作らず、左 (R_{dd} の減少) にいくほど深くなる。 $4D/TSC$, $4H/TSC$ が強い核力場のレンジ・領域までとことん凝縮するメカニズムの力学場を提供する。

Langevin 方程式の数値解法の結果[2.2-2]、図 2.2.1-16 に示すような $4D/TSC$ の一面の dd 間距離 R_{dd} と dd 間の相対運動エネルギーの時間変化が計算される。

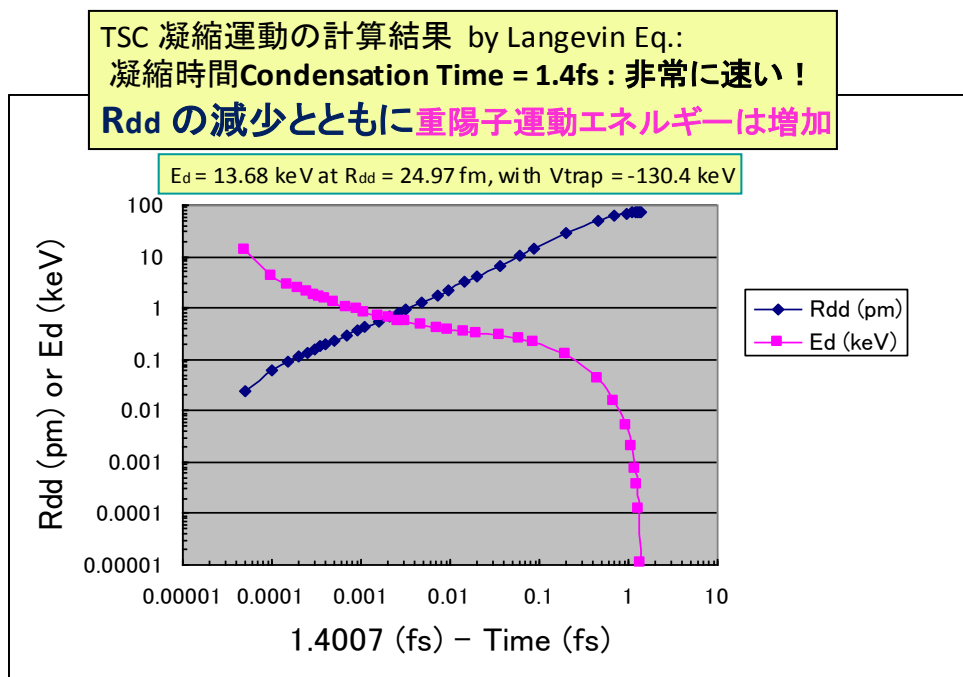


図 2.2.1-16: $4D/TSC$ の時間依存凝縮運動の Langevin 方程式による数値解。

全凝縮時間 (4D 核融合が 100%発生して、 $4D/TSC$ が消滅するまでの時間) は、1.4007fs と非常に短い。最終的には、重陽子の相対運動エネルギーは、13.68keV に達している。
 $4D$ 核融合率は、バリア透過率 (図 2.2.1-17) の急速な増大とともに、1.4fs 付近で急速に増

大する。

時間依存のバリア透過率は、d-d間距離を短縮した仮想dd分子 (EQPET分子) のバリア透過率に、一対一に対応する。

Elapsed Time (fs)	R _{dd} (pm)	P _{2d} : 2D barrier facotor	P _{4d} : 4D barrier factor
0	74.1 (D ₂ molecule)	1.00E-85	1.00E-170
1.259	21.8 (dde*(2,2); Cooper pair)	1.30E-46	1.69E-92
1.342	10.3	2.16E-32	4.67E-64
1.3805	4.12	9.38E-21	8.79E-41
1.3920	2.06	6.89E-15	4.75E-29
1.3970	1.03	9.69E-11	9.40E-21
1.39805	0.805 (muon-dd molecule)	1.00E-9	1.00E-18
1.39960	0.412	9.40E-7	2.16E-13
1.40027	0.206	3.35E-5	1.12E-9
1.40047	0.103	1.43E-3	2.05E-6
1.40062	0.0412	1.05E-2	1.12E-4
1.40070	0.0206 (TSC-min)	4.44E-2	1.98E-3

図 2.2.1-17: TSC 凝縮による時間依存のバリア透過率増大の様子 (HMEQPET による計算)

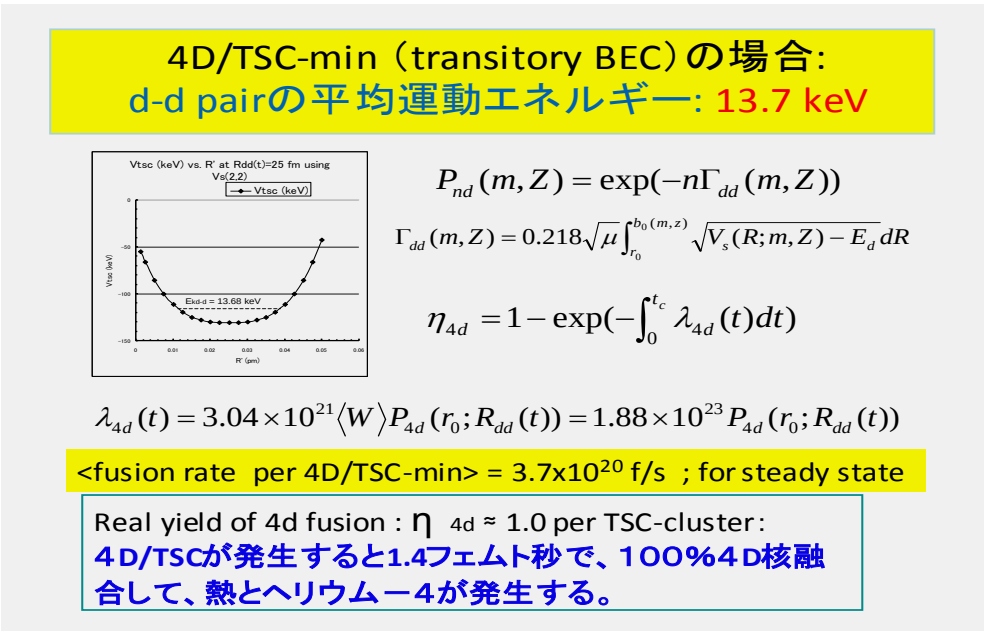


図 2.2-18: TSC 凝縮の最終時点での断熱近似での TSC 閉じ込めポテンシャルと 4D 多体同時核融合率の計算結果。

HMEQPETモデルによる計算結果

捕獲ddペアの平均運動エネルギー

Molecule	b0 (pm)	Rmin (pm)	Vs-min (keV)	Ed-d (keV)	Rgs (pm)	Egs (keV)
D ₂	22	70	-0.03782	0.00268	76.69	-0.03514
dde*(2,2)	4.5	19.3	-0.1804	0.01013	21.82	-0.17027
dde*(5,2)	1.9	7.6	-0.4509	0.0208	8.72	-0.43007
dde*(10,2)	0.90	3.8	-0.9019	0.0418	4.36	-0.86012
dde*(20,2)	0.45	1.9	-1.8039	0.0837	2.18	-1.7202
dde*(50,2)	0.18	0.76	-4.5097	0.2094	0.873	-4.3003
dde*(100,2)	0.09	0.38	-9.0194	0.4196	0.436	-8.5998
dde*(200,2)	0.045	0.19	-18.039	0.843	0.218	-17.196
dde*(500,2)	0.018	0.076	-45.097	2.135	0.0873	-42.968
dde*(1000,2)	0.009	0.038	-90.194	4.336	0.0436	-85.858
dde*(2000,2)	0.0045	0.019	-180.39	8.984	0.0218	-171.406

図 2.2.1-19: 仮想 DD 分子 (HMEQPET 分子) の変分原理による期待値計算結果。

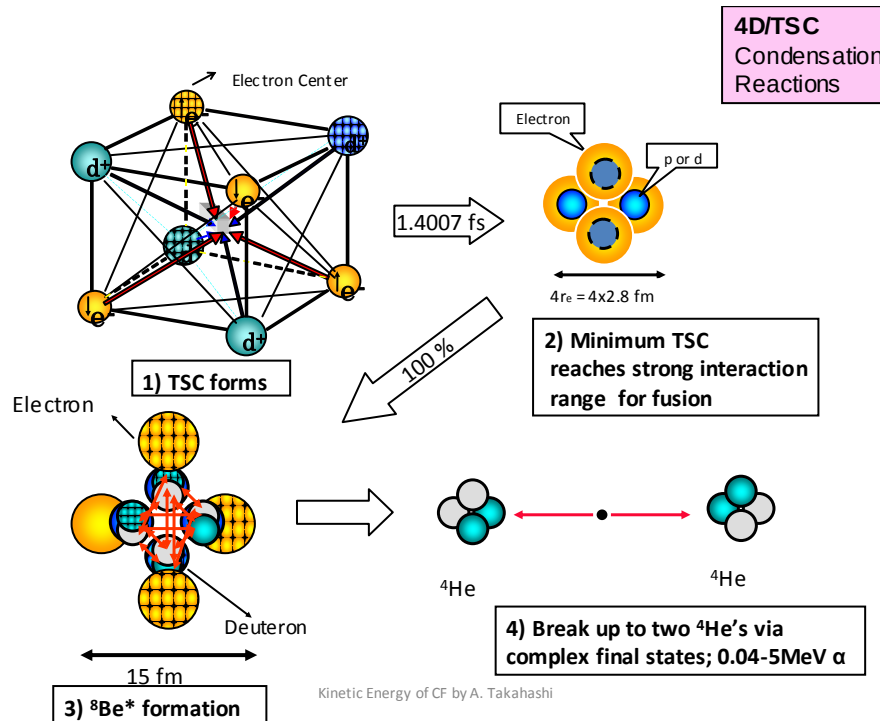


図 2.2.1-20: TSC 理論による 4D/TSC 凝縮過程、中間複合核 $^8\text{Be}^*$ の形成、および終状態相互作用による崩壊の概念図

4D 核融合率は、最後の 2×10^{-20} 秒という瞬時の時間幅のところで、ほぼ 100% 発生する。このときの TSC ポテンシャル（断熱的近似値）と核融合率との関係を図 2.2.1-18 に示す。各時点での断熱的 TSC ポテンシャルを数値計算の便宜上の理由で、仮想的な「重い電子のクーパー対付の DD 分子 = HMEQPET 分子 $dde^*(m, 2)$ のポテンシャル」に置き換えて計算する。仮想分子の DD 間距離 R_{dd} と変分原理で計算した基底状態の期待値を図 2.2.1-19 に示す。

以上のモデル計算結果を、一図でまとめると、図 2.2.1-20 のようになる。終状態相互作用の詳細は、研究途上にある[2.2-1]。複雑であるが、アルファ粒子が 0.04MeV-5MeV 付近に分布して発生すると思われる。また、マイナーブランチにトリトンの発生とその二次反応による 17MeV 付近の高速中性子発生（アルファ粒子の 10^{-12} 桁下の微量発生量）すると解析されている（3.2 節参照）。

ところで、TSC が常温核融合実験の物性・化学条件で、どのようにどの程度発生するかを解明・理論化することは、本質的に重要である。現在、気相系実験の結果の解釈と絡めて、検討中である。たとえば、Pd ナノ粒子の表面 PdO 層（酸化層）に起因する、サブナノホール (SNH) に、D ガスロードの初期から 4D/TSC($t=0$)が発生することを考えている。

詳しくは、ナノ触媒金属のメゾ集団ポテンシャルを形成する“新化学現象”として、3.1 節で紹介する。さわりのみ示すため、図 2.2.1-21-22 に概念図を示した。

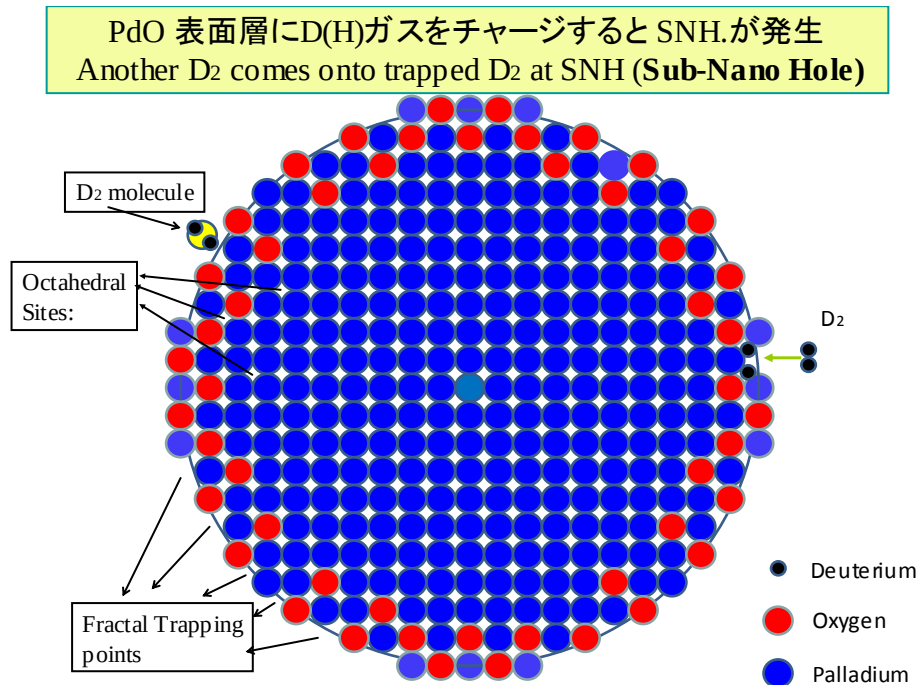


図 2.2.1-21: 金属メゾ触媒効果によるクラスター核融合のタネが、たとえば表面 PdO 層の変化によるサブナノホール (SNH) で形成される。

Image on Formation of TSC($t=0$) at Sub-Nano-Hole (SNH)
Of Nano (Mesoscopic) Catalyst : **メゾ触媒表面でのTSC形成**

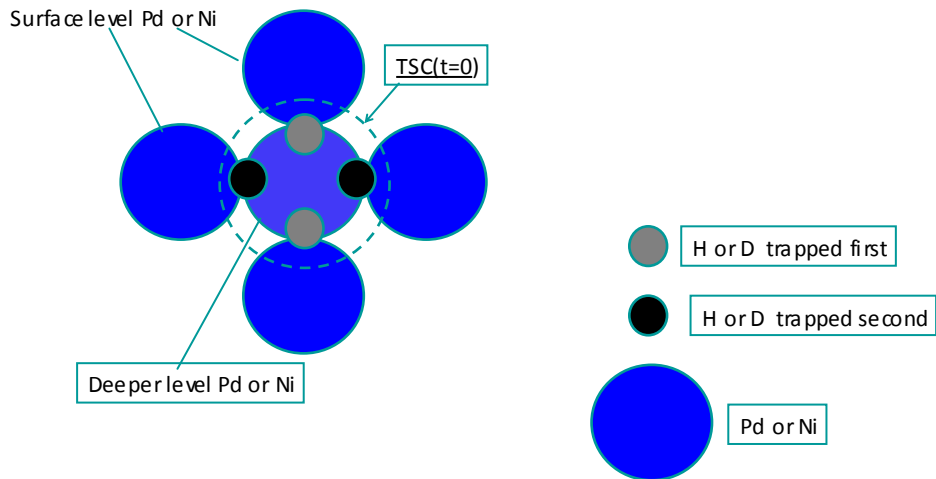


図 2.2.1-22: ナノメゾ金属触媒表面のSNHにできるTSCのイメージ。

結局、「常温核融合の物理原理は、マイクロ空間への“高熱”Dクラスターの閉じ込め」ということになる。核反応過程での粒子の相対運動エネルギーは、プラズマ高温核融合と似たようなものである。しかし、クラスター核融合（特に4D）が優先されて、放射能・放射線は、極度に少なく、大きなクリーン熱発生が期待できる。Cmns-forumでの英文のまとめを和訳して図 2.2-23 に載せた。

常温核融合TSC 理論の結論

- 高温核融合は、磁気ビンや慣性により、巨視的な空間に高温プラズマを閉じ込めて達成する。
- 常温核融合は、凝集系の表面や内部で、超マイクロ空間 (microscopic as 20 fm diameter) に高運動エネルギーの重陽子クラスターを瞬時閉じ込めて達成する。
- 4D/TSC すなわちTransitory BEC (過渡的な Bose-Einstein 凝縮体) の形成と多体同時核融合は、そのメカニズムである。

図 2.2.1-23: TSC 理論の結論と常温核融合の原理

2.2.2 Kim の BECNF 理論 :

パーデュー大学物理教授の Y. Kim は、長年 Bose-Einstein 凝縮が常温核融合の背景にあると考えて、理論化に取り組んできた。国内でも、土屋教授（東京高専）が同様の理論を展開してきた。最近 JCMNS 誌と Naturwissenschaften 誌にレビュー論文を載せている [2.2-8,9]。Kim の ACS2010NET での発表スライドの図を借りて、簡単に説明する。彼の BECNF(Bose Einstein Condensate Nuclear Fusion)理論により、図 2.2.2-1 にまとめた実験の多くのクレームが説明できると主張している。

- [Kim, 2010]
- Experimental Observations (as of 2009) (not complete)**
from both electrolysis and gas loading experiments
- [1] **The Coulomb barrier between two deuterons is suppressed**
 - [2] Excess heat production (the amount of excess heat indicates its nuclear origin)
 - [3] **^4He production commensurate with excess heat production, no 23.85 MeV γ -ray**
 - [4] **More tritium is produced than neutron, $R(n)/R(T) = 10^{-8} \sim 10^{-9}$**
 - [5] **Production of nuclear ashes with anomalous rates: $R\{T\} \ll R\{^4\text{He}\}$ & $R\{n\} \ll R\{T\}$, i.e. $R(T)/R(^4\text{He}) = 10^{-5} \sim 10^{-6}$ and $R(n)/R(T) = 10^{-8} \sim 10^{-9}$**
 - [6] **Production of hot spots and micro-scale craters on metal surface**
 - [7] **Detection of radiations**
 - [8] **“Heat-after-death”**
 - [9] **Requirement of deuteron mobility ($D/Pd > 0.9$, electric current, pressure gradient, etc.)**
 - [10] **Requirement of deuterium purity ($H/D \ll 1$)**
- 6

図 2.2.2-1: Y. Kim が BECNF 理論で説明できるとする実験結果のクレーム

BECNF 理論のアプリオリな仮定を図 2.2.2-2 に示す。

- [Kim, 2009, 2010]
- Theory of Bose-Einstein Condensation Nuclear Fusion (BECNF) in Metal
- **In metal, hydrogen (deuterium) atom is ionized and becomes mobile as proton (deuteron) in metal, as proven experimentally by Coehn [1929]!**
 - Assume for BECNF theory **a single physical concept** that deuterons undergo Bose-Einstein condensation in metal (“nuclear” BEC), and
 - Develop a consistent physical theory which will
 - **(1) be capable of explaining all of ten experimental observations (listed in the previous slide), and**
 - **(2) be capable of making theoretical predictions, which can be tested experimentally**
- 7

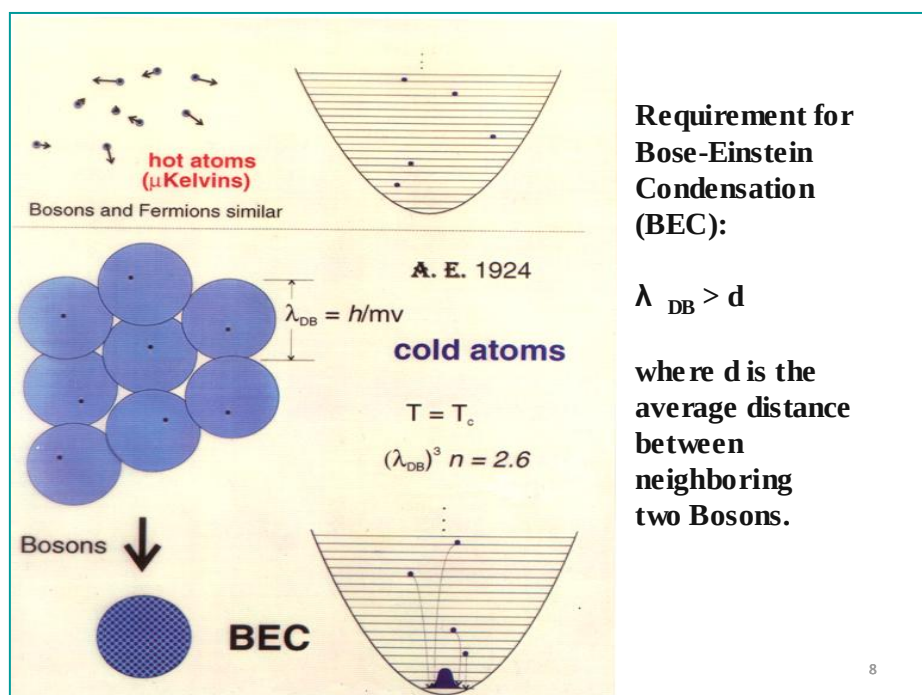
図 2.2.2-2: Kim の BECNF 理論の筋書き

- 1) 金属中では、水素と重水素は移動しやすいイオンになっている。
- 2) 重陽子は金属中では、Bose-Einstein 凝縮すると一意的に仮定する。
- 3) この条件で理論を展開して、実験のクレームの説明と、予見をする。

まず、2つの仮定が大変大胆である。以前より、この仮定への疑問が出されている。

まず、水素や重水素は常温では、Pd バルク金属（電解実験で多く用いられる）格子のO位置（FCC 格子）に吸蔵・捕獲されるが、移動しやすいイオンとは思えない。実際に金属中の拡散に数十時間/cm という長い時間がかかる。また、重陽子は Bose 粒子（スピン：1+）であるが、電荷中和のために常に電子（スピン 1/2 の Fermi 粒子）を伴っていて、原子状Dに近い状態であるので、Dの全体スピンは半整数であり Fermi 粒子である。したがって、BEC できない。

そもそも、どのような力学場（ポテンシャル）で BEC がなぜ起こると考えられるのかという根本的問題を最初から回避している。凝集系の電磁場・クーロン場の粒子閉じ込めポテンシャル内での BEC なのか？ それとも強い核力相互作用のポテンシャル場で、重陽子原子核同士での BEC がありうるのか？ これらの問題を陽に掲げて解くことなしに、電磁場と核力場の両方で波動関数が完全に重なり合うとしている。つまり、クーロンバリアがどのように遮蔽されるのかという問題を、頭から回避しているのである。そして、**図 2.2.2-4**に示すように BEC 状態を統計的に計算できるとしている。



図：2.2-4: BEC 状態になった粒子集合体のイメージ

次に BEC 状態の重陽子の成分(fraction)を図 2.2.2-5 のようにして統計的に計算する。

Fraction of Deuterons in the BEC State in Metal at Various Temperatures

→ For BOSE-Einstein distribution, a fraction $F(T)$ of deuterons below the temperature T or E_c satisfying

$\lambda_{dB} = d(\lambda_{dB} \equiv h/mv)$ can be calculated as

$$F(T) = \frac{1}{N} \int_0^{E_c} n_{BE}(E) N(E) dE$$

where

$$N = \int_0^\infty n_{BE}(E) N(E) dE = \int_0^\infty \frac{N(E) dE}{e^{\alpha} e^{E/kT} - 1} \quad N(E) dE = \frac{4\pi V}{h^3} (2m^3)^{1/2} \sqrt{E} dE$$

→ For $T = 300^\circ \text{ K}$ with $\lambda_{dB} > d = 2.5 \text{ \AA}$,

$F(300^\circ \text{ K}) = 0.084 (8.4\%)$,

compared to $\sim 10\%$ for the atomic BEC case.

→ $F(77.3^\circ \text{ K}) = \sim 0.44 (\sim 44\%)$! (Liquid Nitrogen Temp.)

→ $F(20.3^\circ \text{ K}) = \sim 0.94 (\sim 94\%)$!! (Liquid Hydrogen Temp.)

11

図 2.2.2-5: 常温における BEC 状態の重陽子数の統計計算。

[Kim, 2009]

Total Reaction Rate

The total fusion rate R_t is given by

$$R_t = N_{\text{trap}} R_{\text{trap}} = \frac{N_D}{N} R_{\text{trap}} = \frac{1}{4} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{1/2} SB\Omega V n_D^2 \quad (3)$$

$$R_{\text{trap}} = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{3/2} SB\Omega \frac{N^2}{D_{\text{trap}}^3} = \frac{1}{4} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{1/2} SB\Omega n_D N \quad (4)$$

where S is the S -factor in units of keV-barn, $B = 2\hbar / (\pi m e^2) = 1.4 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{sec} \times (\text{keV-barn})^{-1}$, and $SB = 0.77 \times 10^{-16} \text{ cm}^3/\text{sec}$ with $S = 55 \text{ keV-barn}$. D_{trap} is the average diameter of the trap, N_D is the total number of deuterons, N is the number of deuterons in a trap, and n_D is the deuteron density.

Only one unknown parameter is the probability of the BEC ground-state occupation, Ω !!!

14

図 2.2.2-6: Kim の理論における核反応率の計算式

この計算は、電磁クーロン場における BEC 状態、つまり波動関数が完全に重なった DD ペアの数を求めるものである。しかし、この DD ペアは、強い核力相互作用の場での原子核

dd ペアの BEC 状態ではない。しかし、Kim は、そこを混同しているように見受けられ、電磁クーロン場と核力場の両方で BEC 状態が成立したとして、核融合率を DD 反応で実験的に既知の S 値 (astrophysical S-factor) を用いて計算している (図 2.2.2-6)。核反応のステップ (図 2.1-5) を陽に扱わずに、100%生ずる Black-box としてしまっている。(これは、終状態の変化を扱う上で、理論として根本的にまずい、と言わなければならない。)

次に多体核反応過程について、不可解な論旨を図 2.2.2-7 のように展開している。

[Kim, 2009], Exp. Obs. [2] & [3]

◎ For a single trap (or metal particle) containing N deuterons, we have

$$\psi_{\text{BEC}} \{ (N-2) \text{D's} + (\text{D} + \text{D}) \} \rightarrow \psi^* \{ {}^4\text{He} + (N-2) \text{D's} \} \quad (Q = 23.84 \text{ MeV})$$

where ψ_{BEC} is the Bose-Einstein condensate ground-state (a coherent quantum state) with N deuterons, and ψ^* are continuum final states.

→ Total momentum conservation

Initial total momentum: $\vec{P}_{\text{D}^N} \approx 0$

Final total momentum:

$$\{6\} \vec{P}_{\text{D}^{N-2} {}^4\text{He}} \approx 0, \quad \langle T_{\text{D}} \rangle \approx \langle T_{{}^4\text{He}} \rangle \approx \frac{Q\{6\}}{N}$$

where $\langle T \rangle$ is the average kinetic energy T.

◎ Excess energy (Q value) is absorbed by the BEC state and shared by (N-2) deuterons and reaction products.

→ Provides explanations for Observations [2] (Excess heat production) and [3] (${}^4\text{He}$ production without gamma-ray)

16

図 2.2.2-7: Kim の多体核反応過程で ${}^4\text{He}$ が発生するとするロジック。(中間複合核状態をまったく考えていないので、同時多体の強い相互作用が BEC で生ずるかどうかの物理プロセスの検討がまったくない。今後の改良を待ちたい。)

Multi-Deuteron BEC Fusion (continued)

N deuterons (ND's) fusion in BEC is possible, but its probability would be much less than two deuterons (2D) fusion.

N = 20 (Z = 20):
 $20 \text{ D's} \rightarrow {}^{40}\text{Ca} + 297.6 \text{ MeV} \quad (0^+, \text{ abundance: } 96.941 \%)$

N = 14 (Z = 14):
 $14 \text{ D's} \rightarrow {}^{28}\text{Si} + 205.4 \text{ MeV} \quad (0^+, \text{ abundance: } 92.23 \%)$

N = 13 (Z = 13):
 $13 \text{ D's} \rightarrow {}^{26}\text{Al} + 177.9 \text{ MeV} \quad (5^+, 7.4 \times 10^5 \text{ years, e-capture decay to } {}^{26}\text{Mg} \quad (0^+, Z=12, \text{ abundance } 11.1 \%))$

N = 12 (Z = 12):
 $12 \text{ D's} \rightarrow {}^{24}\text{Mg} + 171.6 \text{ MeV} \quad (0^+, \text{ abundance: } 78.99\%)$

We need independent experimental tests !

19

図 2.2.2-8: Kim の超多体核反応の“無茶な”主張(強い核力相互作用が 12-20D に同時に働く?)

この多体反応の式は、図 2.1-3 で述べた理論化のクライテリアがまったくクリアされていない好例である。(したがって、この理論はまだ、“Ansatz” の段階にあるといえる。)

さらに、図 2.2-28 のような無茶を主張している。強い核力相互作用が、12-20 個もの多数の D からなるクラスターに働くためには、すべての重陽子 D が核力のレンジ (1.4fm のパイオンのコンプトン波長) で繋がって凝縮していなければならない。そのことを、量子論に基づく数式モデル計算で示す必要がある。今後の努力に期待したい。

このように BEC に目をつけた Yeon Kim の眼力はさすがであるが、最初の仮定と各所の論理に無理が見られるのが残念である。改良した論文を期待したい。

[参考文献]

- [2.2-1] A. Takahashi: Progress in condensed cluster fusion theory, JCMNS, Vol.4, pp.269-281 (2011)
- [2.2-2] A. Takahashi, N. Yabuuchi: Study on 4D/TSC condensation motion by non-linear Langevin equation, American Chemical Society, Oxford Univ. Press, LENR-NET Sourcebook Vol.1, pp.57-83 (2008)
- [2.2-3] A. Takahashi: The basics of deuteron cluster dynamics as shown by Langevin equation, American Chemical Society, Oxford Univ. Press, LENR-NET Sourcebook Vol.2, pp.193-217 (2009)
- [2.2-4] A. Takahashi, N. Yabuuchi: Fusion Rates of Bosonized Condensates, JCMNS, Vol.1, pp.106-128 (2007)
- [2.2-5] 高橋亮人: 常温核融合 2008 凝集核融合のメカニズム、工学社(2008)
- [2.2-6] 白土しょう二: 原子物理学 II, 第 10 章 分子と分子スペクトル、日本理工出版会、1984 年
- [2.2-7] 高橋亮人: 常温核融合 2006 凝集系核科学への展開、付録、工学者 (2006)
- [2.2-8] Y. Kim: Bose Einstein Condensate Theory of Deuteron Fusion in Metal, JCMNS, Vol.4, pp.188-208 (2011)
- [2.2-9] Y. Kim: Theory of Bose-Einstein Condensation for Deuteron-Induced Nuclear reactions in Micro/Nano-Scale Metal Grains and Particles”, Naturwissenschaften 96, 803(2009).

2.3 弱い相互作用の異常増大モデル (W-L 理論、4H/TSC ほか)

Widom-Larsen が軽水電解系での異常核反応のモデルとして、PdH 平面格子振動の異常増大による電子運動エネルギーの 500keV を越す動的な状態と $H+e$ の弱い相互作用による「Very Cold Neutron」の発生、VCN による二次連鎖核反応、の論文を Euro-Physics J.[2.3-1]に発表したときは、D. Nagel, E. Storms, S. Krivit などが賞賛した。特に、S. Krivit は彼のブログ New Energy Times で、W-L 理論の宣伝を今も行っている。W-L 理論のまとめは、ACS-NET LENR Vol.2 の論文[2.3.2]が読み易い。

W-L の理論の批判的検討に入る前に、高橋の TSC 理論で 4H/TSC の最後の凝縮段階でどの程度の弱い相互作用が可能かを量的に検討してみよう (cmns-forum に提供されたスライド ppt を引用[2.3-3]、JCF12)。その結果は、W-L 理論の理解に役立つからである。

4H/TSC による弱強同時核反応による核融合予測：TSC の凝縮速度はH系ではD系のルート2倍 (1.41) となる。すなわち、約 1fs で強い核力相互作用の領域まで凝縮する。陽子間では強い相互作用による核融合接着力は働かない (スピン、アイソスピン交換力は斥力)。しかし、4H/TSC にトラップされた電子の運動エネルギーが最終段階で相当増加するので、普通しきい反応で起こらない「陽子による電子捕獲で中性子が発生」するかもしれない。図 2.3-1 にこのモデル理論の結論を図示している。

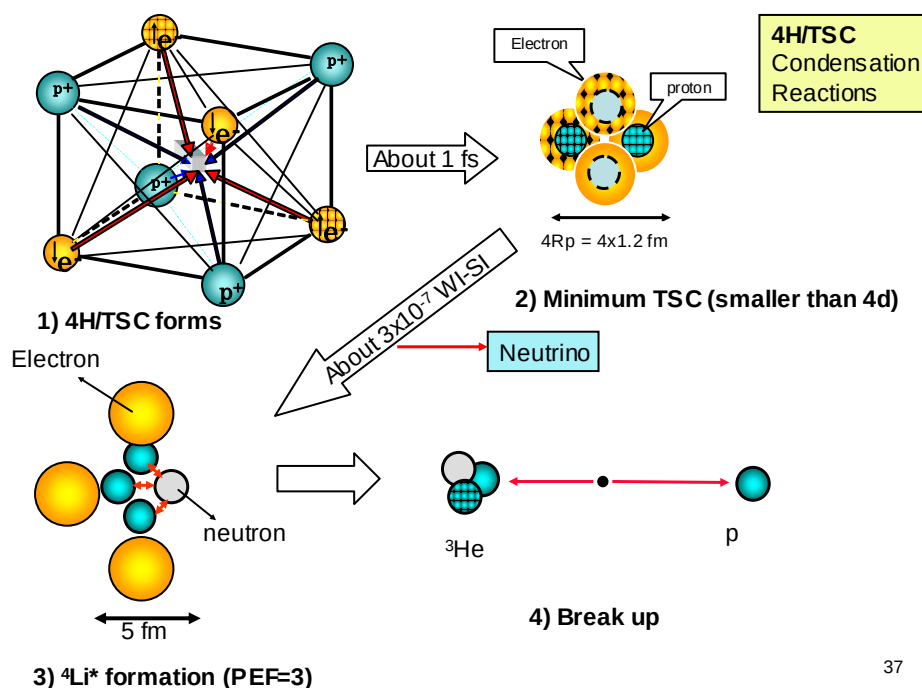


図 2.3-1: 4H/TSC の凝縮と弱い相互作用による中性子生成と強い相互作用による ($3p+n$) 核融合の瞬時連続反応のモデル

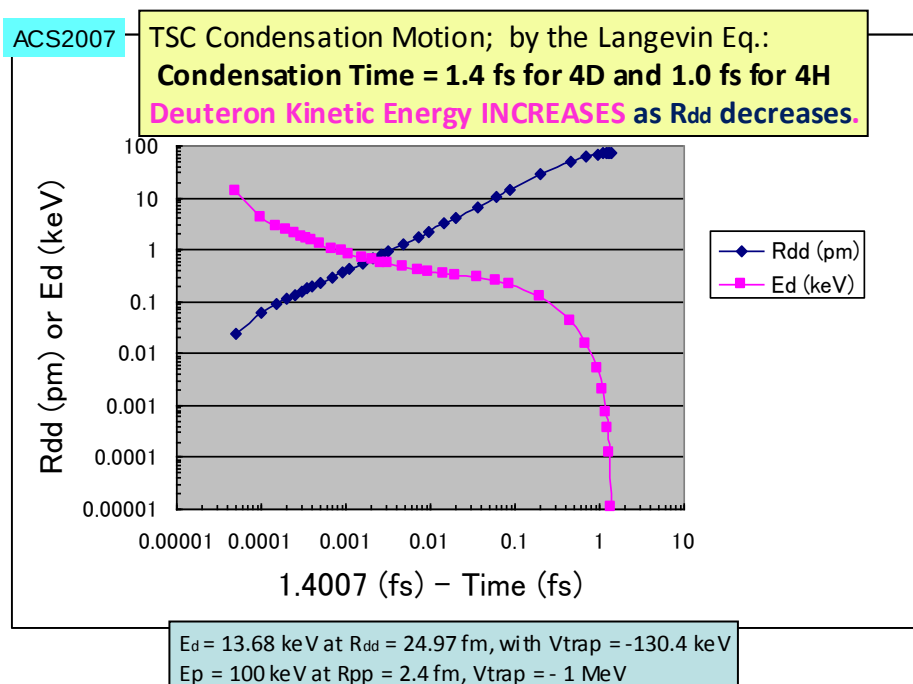


図 2.3-2: 4H/TSC 凝縮運動を 4D/TSC の結果から焼きなおした図

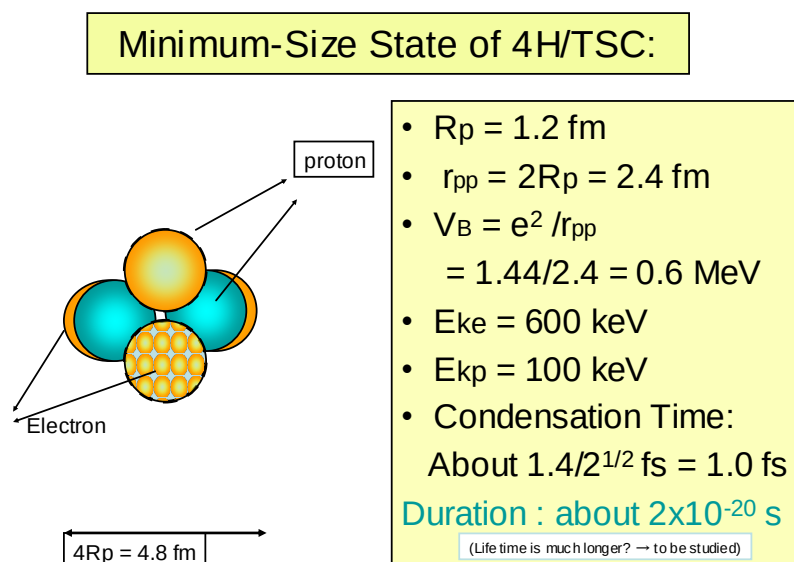


図 2.3-3: 4H/TSC-minimum のパラメータの評価値

この反応の率は TSC あたり 10^{-7} のオーダーである。4D/TSC による 4D 核融合 ($^8\text{Be}^*$ から ^4He の発生) が TSC あたり 1.0 の反応確率であったことに比べると、問題なく少なく

無視できるかに見える。しかし、4H/TSC は R_{pp} が 10fm に至っても強い核力による核融合と 4H/TSC クラスターの消滅はない。そのため、4D/TSC より寿命がずいぶんと長くなる可能性がある（その評価が大切だが、研究中）。そして、4H/TSC が 3fm 程度まで凝縮したときに、付随する電子の瞬間運動エネルギーが約 0.6MeV に上昇すると解析される（図 2.3-2）

$R_{pp}=2.4\text{fm}$ での TSC ポテンシャルの深さ (V_{trap}) は約-1.2MeV となる。そのとき捕捉された電子の運動エネルギーは、その半分で、約 0.6MeV となる。これは、陽子が電子捕獲(弱い相互作用)で中性子を生成するしきいエネルギーの 0.272MeV を超えている。

(注：Widom-Larsen は、PdH の調和振動（基底エネルギー0.03eV）のコヒーレント結合的重なりで電子の運動エネルギーが異常に増大する成分があり、1MeV に至ると仮定している。しかし、相当に無理な仮定である。一方、4H/TSC は、簡単にその鍵となるしきい条件を達成しそうである。)

図 2.3-3 に 4H/TSC-min の見積もり評価値を示した。そのときに、弱い相互作用による陽子の電子捕獲が起こる反応率を図 2.3-4 に見積もっている。

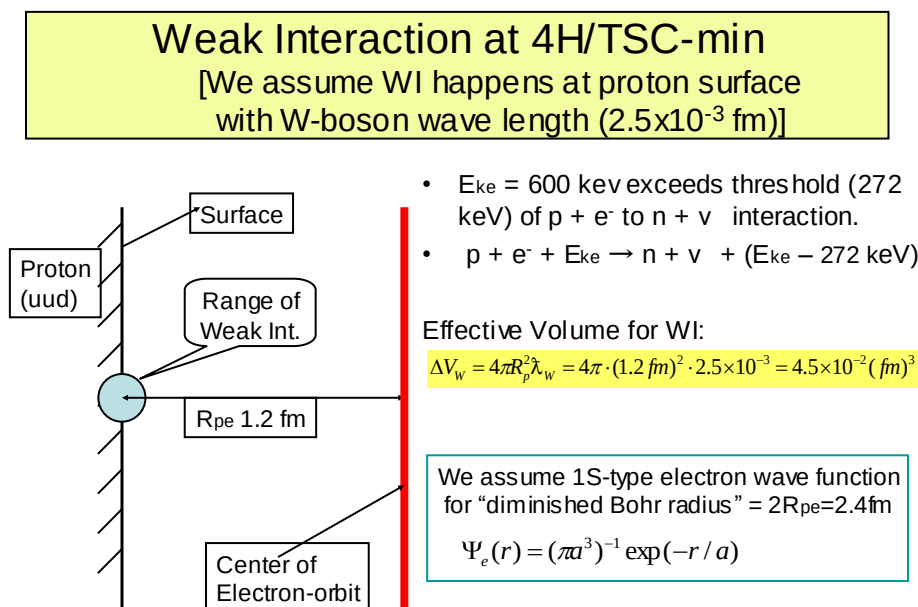


図 2.3-4: 4H/TSC-min 状態での弱い核力相互作用による陽子の電子捕獲と中性子生成反応率の見積もり

ウィークボソンのコンプトン波長 $2.5\text{am}(2.5 \times 10^{-18}\text{m})$ が弱い相互作用が起こる領域（レンジ）となる。これは、図に示すように $1.2\text{fm}(1.2 \times 10^{-15}\text{m})$ とその千倍の大きさを持つ陽子表面の小さなスポット状の領域でのみ起こる反応である。そのために、4H/TSC-min に

Weak Interaction at 4H/TSC-min

- $p + e^- + E_{ke}$
(600keV) $\rightarrow n + \nu + 328 \text{ keV}$
- Neutrino carries away most of 328 keV.
- **Produced n makes immediately strong interaction with remained 3p of TSC.**

$$\langle W_{rate} \rangle = (4\pi / h) \langle W \rangle_w \langle \Psi_e(r_w) \rangle^2$$

$$\langle \Psi_e(r_w) \rangle^2 \sim \Psi_e(R_p)^2 \Delta V_w = (0.6 / (3.14 \times 2.4^3)) \times 4.5 \times 10^{-2} = 5.9 \times 10^{-5}$$

$$(4\pi / h) \langle W \rangle_w = |M_F|_F = (G_F / V) c_V \cos \theta_c$$

$$G_F = 1.16 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2} (\hbar c)^3 = 89 \text{ eV} (\text{fm})^3$$

$$\cos \theta_c = 0.88 \quad : \text{Weinberg angle, and We set } c_V = 1 \text{ and } V = 1$$

$$\langle W \rangle_w = 78 \text{ eV}$$

$$\begin{aligned} \langle \text{Real } W_{rate} \rangle &= \langle W_{rate} \rangle \Delta t_{\text{tsc-min}} \\ &= 2.37 \times 10^{17} \times 5.9 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-20} = \\ &= \mathbf{2.8 \times 10^{-7} \text{ (1/cluster)}} \end{aligned}$$

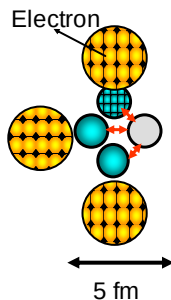
図 2.3-5: 4H/TSC-min 状態での陽子の電子捕獲による反応率の計算。

Rate of Strong Interaction for n-3p Cluster

: Immediate strong reaction with "n" by WI

Gauge boson propagation time per fm = $1 \text{ fm} / c = 3 \times 10^{-24} \text{ s} \rightarrow$

Simultaneous 4-body reaction possible (100%) within $\Delta t_{\text{tsc-min}} = 2 \times 10^{-20} \text{ s}$



$$\langle S_{rate} \rangle = (4\pi / h) \langle W \rangle_s (\Delta t_{\text{tsc-min}})$$

$$PEF = 3$$

$$\langle W \rangle_s = 0.115 \text{ MeV}$$

It means 1.0
(100% fusion)

$$\langle S_{rate} \rangle = 3.04 \times 10^{21} \times 0.115 \times 2 \times 10^{-20} = 7.0 \text{ (1/cluster)}$$

$$\begin{aligned} \langle \text{4H/TSC Fusion Rate} \rangle &= \langle W_{rate} \rangle \langle S_{rate} \rangle \\ &= 2.8 \times 10^{-7} \times 1.0 = 2.8 \times 10^{-7} \text{ (1/cluster)} \rightarrow \end{aligned}$$

By gas loading experiment with 2nm diam Ni(+Pd or Cu) particle,
one TSC per particle per sec was speculated: 1/10,000 per s per nano-p.

Supposing TSC production rate per s per mol-metal (Ni): $6.023 \times 10^{23} / 10^4 \sim 6 \times 10^{19}$

$$\langle \text{Macroscopic 4H/TSC Fusion rate} \rangle = 2.8 \times 10^{-7} \times 6 \times 10^{19} = \mathbf{1.7 \times 10^{13} \text{ (f/s/mol)}}$$

About 20W

図 2.3-6: 4H/TSC-min では、中性子発生後の瞬時に(3p+n)核融合が発生する。
(強い相互作用の近似的 gauge-boson=pion のコンプトン波長は、1.4fm)

Products of 4H/TSC W-S Fusion

- $3p + n \rightarrow {}^4\text{Li}^*(4.62\text{MeV})$
- ${}^4\text{Li}^*(4.62\text{MeV}) \rightarrow {}^3\text{He} + p + 7.72\text{MeV}$
(1.93) (5.79)
- ${}^4\text{Li}^*(4.62\text{MeV}) \rightarrow d + 2p + 2.22\text{MeV}$
(~1MeV)
- 5.79MeV proton produces PIXE:
ca. 8keV for Ni
- 5.79MeV proton energy is smaller than neutron emission threshold for ${}^{58}\text{Ni}$ (9.5MeV) and ${}^{60}\text{Ni}$ (6.9MeV), but larger than those for ${}^{61}\text{Ni}$ (3MeV), ${}^{62}\text{Ni}$ (4.5MeV) and ${}^{64}\text{Ni}$ (2.5MeV) . (So, [see the slide after the next one.](#))

Main branch
See next
slide

図 2.3-7: 4H/TSC-min の(3p + n)核融合で発生する生成粒子。

Conclusions of 4H/TSC WS-Fusion

- **Simultaneous (very rapid cascade) weak and strong interaction may be predicted in the final stage of 4H/TSC condensation.**
- About 20 watts (or more)/mol-Ni heat with ${}^3\text{He} + d$ products is predicted (**Clean Heat**).
(Heat level depends on TSC generation rate.)
- PIXE X-rays (ca. 8keV) will be detected.
- About 0.2 n per one joule heat will be detected.
(10^5 neutrons/s per one mega-watt heat level)
- About 4 gammas by $\text{Ni}(p, \gamma)$ per joule will be.

図 2.3- 8: 4H/TSC による弱・強核力同時作用による反応モデルの結論

トラップされた電子波動関数（計算では 1s 波動関数として近似している）のうち、その WI 領域 (ΔV_w) に寄与する成分は約 5 桁桁落ちする (図 2.3-5)。

(注：W-L の用いた理論式では、WI 領域 (ΔV_w) に寄与する成分の約 5 桁桁落を無視して、ウエイトを 1.0 にしている。この誤りが反応率の過大評価を生んでいる。)

なお、この陽子の電子捕獲反応は、複数の H で同時に起こることはない。その理由は、WI 領域 (ΔV_w) が、一個の陽子表面のローカルスポットになり、ほかの陽子のローカルスポットと重なることはなきに等しい確率だからである。(注：つまり、poly-neutron は発生しない。) 4H/TSC-min に中性子が 1 個発生すると、強い核力レンジ (パイオンのコンプトン波長 1.4fm) 内に 3 個の陽子が同時に存在するので、One-Pion-Exchange-Force (PEF) が 3 個の陽子と一個の中性子の間に同時に働く。その結果、100%の確率で、 $(3p + n \rightarrow {}^4\text{Li}^*)$ 核融合が発生する。複合核 ${}^4\text{Li}^*$ は、ほぼ 100% のブランチで、 $p(5.79\text{MeV})$ と ${}^3\text{He}(1.93\text{MeV})$ に崩壊する。(図 2.3-7)

(余談だが、このようなプロセスで ${}^3\text{He}$ が大量に生成できれば、高温プラズマ D T 核融合炉の T 増殖ブランケットは、Li が不要となって、炉構成は非常に簡単になる。4H/TSC の寿命の長さと TSC の発生率の増大が課題である。これが実現すれば、HF と CF は“お仲間”になれる。そうなれば、科学技術の発展にとって悪いことではない。) 高橋スライド[2.3-3]の結論(JCF12 で発表)を図 2.3-8 に示す。

さて、cmns-forum で議論された Widom-Larsen 理論の弱点・問題点・誤りについて、箇条書きでまとめると次のようである。

- 1) 金属水素格子の表面の電子エネルギーが 272keV を越すメカニズムが見当たらない。W-L は、重い電子 e^* の発生や phonon 振動子の pumping-up で 1MeV に至る電子が発生するとしているが、具体的物性メカニズムと定量化が示されていない。もし自由電子が 1MeV に加速されると、制動 X 線が lethal に発生するはずであるが、観測されていない。PdH などの実際の試料表面は、フラクタルで、W-L のモデルのように平坦ではないので、coherent phonon の pumping-up は望めない。
- 2) PdH などの H は、捕捉状態での振動エネルギーが 0.03eV 程度である。もし陽子の電子捕獲が発生すると、発生中性子はこの運動エネルギーを保存するので、W-L が主張する VLMN(very low momentum neutron)にはなれない。また、もし中性子が低エネルギーで発生しても、Pd 格子振動の phonon のエネルギーをもらって上方散乱するので、室温付近の熱エネルギーに数 ms で平衡する。実際の C F 実験系では、熱中性子は数マイクロ秒内に系外へと漏洩する (Kozima モデルでも同様)。
- 3) 低エネルギー中性子による核反応断面積は、 $1/v$ 法則に従う。反応率 = (中性子 flux) $\times$ (断面積) = $nv\sigma$ は中性子密度に比例する。Low momentum になって反応率

が 100%となると W-L は主張するが、間違い。反応率は熱中性子と変わらない。反応しない中性子が必ず系外に大量に漏れて、容易に観測されるはずである。反応が発熱レベルなら、中性子漏洩量は lethal(致死量) : 10^{12} n/s 以上となるはず。

- 4) 「VLMN の金属原子核への吸収で発生する即発ガンマ線が、重い電子状態 e^* により 100%金属水素格子で吸収される」という仮説を W-L は主張し、特許も申請しているようである。この主張には、核・放射線物理的理由が無く、荒唐無稽である。
- 5) W-L 理論は $dde^* \rightarrow d + n + n$ の反応が重水素金属系で頻繁に起こることを帰結するが、そのような観測結果はない。
- 6) W-L の立式した弱い相互作用による反応率評価の量子力学は、正当のように数式からは見える。しかし、数値計算の途上で間違った物理 (weak boson range を考慮していないなど) 条件を用いていて、非常な反応率の過大評価となっている。

今後の改良を期待したい。

[参考文献]

- [2.3-1] A. Widom, L. Larsen: Ultra low momentum neutron catalyzed nuclear reactions on metal hydride surfaces, Eur. Phys. J., C46, 107 (2006)
- [2.3-2] Y. Srivastava, A. Widom, L. Larsen: A primer for electroweak-induced low energy nuclear reactions, LENR NET Sourcebook Vol.2, ACS, pp.253-270 (2009)
- [2.3-3] A. Takahashi: 4H/TSC fusion by simultaneous weak and strong interactions, ppt slide for cmns-forum discussion, August 2011 (to be presented at JCF12)

2.4 コヒーレント共鳴遷移理論 (Hagelstein, Chubb) は正しいか

Fleischmann-Pons の「中性子が出ない重水電解での過剰熱」の歴史的発表(1989)のあと、M. Miles, L. Case, M. McKubre, Y. Arata などが、「過剰熱と関連する ^4He の発生」を報告して、 $D + D \rightarrow ^4\text{He} + \text{lattice-energy (23.8MeV)}$ の物理過程があるのではないかと推測され、J. Schwinger, G. Preparata, P. Hagelstein, S. Chubb などが「Coherent DD fusion」の理論化に取り組んできた。しかし、この“単純な”反応式は成立しないだろう事をすでに今までの報告で述べた[2.2-1-5]。しかし、Hagelstein は、まだあきらめずに追求している。(M. McKubre によると、“Peter は長年の友だから、彼の理論を信じてサポートする”、と言っている。ご冗談でしょう、Mike さん、友情と学問を天秤にかけてはいけません。) 最近 Hagelstein は、JCMNS 誌に数編の論文を発表している[2.4-1,2]。「コヒーレントな核反応」モデルは、多数の振動子間の phonon 交換により各系のエネルギー順位交換・変化が生まれると仮定する。この関係を、第二量子化の生成演算子と消

減演算子を用いて数式化する。エレガントな理論体系に見える。

図 2.4-1 に示すような、phonon 交換の多数系を考える。その理由は、 ${}^4\text{He}^*$ ($E_x=23.8\text{MeV}$) の複合核励起エネルギー（または、 2D と ${}^4\text{He}$ の質量欠損分のエネルギー 23.8MeV) を C F 実験の凝集系物質 (PdDx) の格子振動エネルギー（各振動子は、 0.03eV 程度の phonon-energy を持つ）に物質を破壊せずに遷移させるプリミティブな条件を考える。それは、受け取る側の格子振動子が 100 万個以上の数必要となることである。また、100 万個の receptors に同時に 23.8MeV を均等分配して遷移させることは、とてもできない。（勝手に想定することは、人間の自由度の内だが、合理的具体的物理過程が見つからない。情報伝達時間の上限が光速になることから、100 万個の広がった空間に“同時”に情報伝達するには、光速が情報伝達速度の上限のため、100 万の原子が数 nm 径の広い空間に分布しているので、 ${}^4\text{He}^*$ の寿命 10^{-22}s の間に作用するのは、無理がある。）

だから、 ${}^4\text{He}^*$ から順調に 100 万個の phonon が格子振動に伝わるまで、 ${}^4\text{He}^*$ は長い寿命でいなければならない、 ${}^4\text{He}^*$ 状態を維持して phonon 交換に最後まで応じてもらわねばならない。（気相実験のナノ粒子は、原子数 1000-20,000 のメゾ系であるので、不可能!）

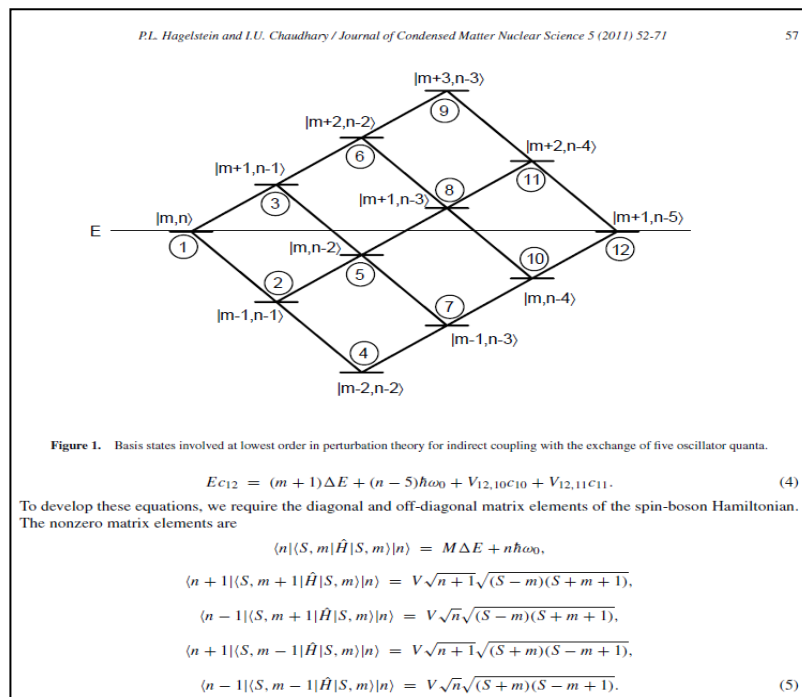


図 2.4-1: 多数の振動子間の phonon 交換による遷移を Hagelstein は扱う。

数式はエレガントである。しかし、なにか物理がおかしい。その理由は、2.1 節で論じた criteria の多くが無視されているからである。特に基本的に問題なのは、図 2.1-5 に示した核反応過程の 3 ステップが陽に扱われていないことである。特に、複合核状態からエネルギーを放出遷移して終状態相互作用で崩壊する過程の物理を取り違えていることで

ある。終状態相互作用の崩壊過程では、出口の粒子は運動量保存上 2 個以上で、質量欠損などによりエントロピーが増大する。すなわち、反応の向きは出口への一方的（一方通行）で、無秩序度（エントロピー）が増えたために元の複合核や初期状態の粒子集合に帰るための一体一の可逆的通行関係が失われている。これは、電磁場（バリア透過問題）と強い（または弱い）核力場という 2 種類の力の間を経由する「核反応の特質」である。

電荷と光の関係のような電磁場だけの現象なら、振動子間を「行きつ戻りつ」することが可能である。（Hagelstein は、後者を念頭にしているのであろう。）しかし、核力が絡むと物質の存在層(stratum)が変化するために、「行きつ戻りつ」(reversibility)は成立しない。反応は、one-way なのである。

だから、Hagelstein や Chubb の理論[2.4-3]は、核反応率を定量計算してモデルの有効性を示す段階には、この 20 年間で至っていないのである。やはり、理論は核反応を陽に扱って、feasibility を示す必要がある。（S. Chubb は、2011 年 3 月、残念ながら逝去した。 ISCMNS の運営にともに従事したものとして、心から冥福を祈ります。）

[参考文献]

- [2.4-1] P. Hagelstein: Energy exchange using spin-boson models with infinite loss, JCMNS, Vol.4, pp.202-213 (2011)
- [2.4-2] P. Hagelstein, I. Chaudhary: Energy exchange in the lossy spin-boson exchange model, JCMNS, Vol.5, pp.52-87 (2011)
- [2.4-3] S. Chubb: Concerning the role of electromagnetism in low-energy-nuclear-reactions, JCMNS, Vol.4, pp.213-224 (2011)

2.5 二次放射線量解析 (Hagelstein)

こちらのほうの Hagelstein の最近の論文[2.5-1-3]とその結果（図表）は、C F 現象の二次反応粒子の定量解析結果として、大変有用である。

過去の常温核融合関連実験では、異常な過剰熱以外に、熱と相関するかに見える ^4He の発生がもつとも主要な結果である。その物理メカニズムを推論するとき、ごく微量の発生が検出されたとする放射線（中性子、荷電粒子、ガンマ線、X線、可視光、など）のデータは、有用な手がかり(clue)である。彼の最も主張したい結論は、「発熱現象が、アルファ粒子発生による核反応だとすると、微小な中性子レベルを説明するには、アルファ粒子の発生運動エネルギーは、20keV 以下で無ければならない。」である。

（注：彼の $\text{D} + \text{D} \rightarrow ^4\text{He} + \text{lattice-energy (23.8MeV)}$ とする理論にとっては、TSC などの他の核反応を陽に扱う理論を拒絶するために都合の良い結果である。）

荷電粒子の物質中での電離減速過程、重陽子などのはじき出しスペクトルの解析、はじき出し二次重陽子による DD 反応とその中性子イールド、これらについてはすでに SRIM コードなど確立された放射線物理で用いられている道具を使っていて、問題ない。計算結果も正しそうである。しかし、「アルファ粒子エネルギーが 20keV 以下でないといけない」とする結論は、早計である。その理由は、①明確な発熱観測実験では中性子測定は出来ていないか精度が悪い、②中性子測定の精度が良いものは発熱測定の精度が大変悪い、③発熱・アルファ線・中性子を同時にオンライン測定した信頼できるデータはこれまでのところ報告されていない、など、「多くの独立の実験結果の異なる物理量を、直接相関すると仮定して、同一現象物理の唯一の反応の結果である」と断定して、計算結果と比較結論するとき、用いているところである。われわれはまだ、正確な再現性ある「核熱相関のオンラインデータが出揃うのを待つ段階にある」のである。しかし、図表（図 2.5-1-2）は、将来に役立つと思われる。

P.L. Hagelstein / Journal of Condensed Matter Nuclear Science 3 (2010) 35–40

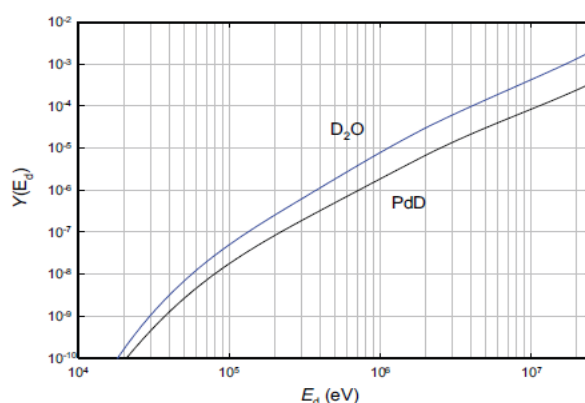


Figure 4. Yield of neutrons due to deuterium–deuteron fusion reactions in PdD (lower curve) and in D₂O (upper curve).

図 2.5-1: 重陽子入射による DD 反応中性子の PdD, D2O 内でのイールド

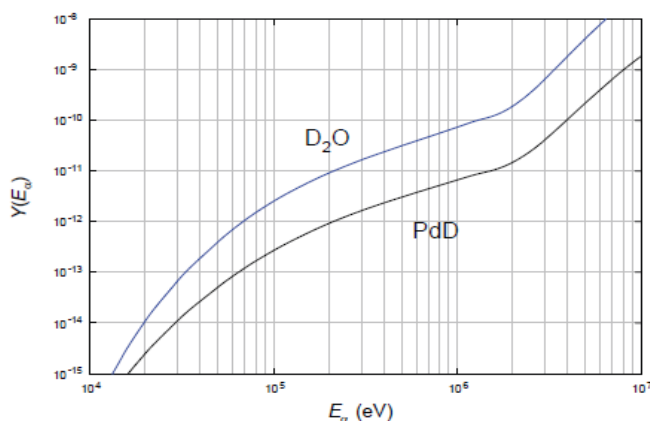


Figure 5. Yield of secondary neutrons in PdD (lower curve) and in D₂O (upper curve).

図 2.5-2: α 粒子エネルギーと PdD, D2O 中での二次中性子イールド

[参考文献]

- [2.5-1] P. Hagelstein: Tunneling neutron yield for energetic deuterons in PdD and in D₂O, JCMNS, Vol.3, pp.35-40, (2010)
- [2.5-2] P. Hagelstein: Secondary neutron yield in the presence of energetic alpha-particles in PdD, JCMNS, Vol.3, pp.41-49 (2010)
- [2.5-3] P. Hagelstein: On the connection between K α X-rays and energetic alpha-particles in Fleischmann-Pons experiments, JCMNS, Vol.3, pp.50-58 (2010)

2.6 中性子・ポリ中性子が背景？(Fisher, Kozima)

J. Fisher の Polyneutron 論や H. Kozima の中性子触媒核反応 (NCNR) 論は、2.1 節で論じた criteria をまったくクリアしていない、“crazy conjecture”の好例であるようだ。

Fisher は、cmns-forum で繰り返し多くの人と論争した。B. Collis などのサポートがあるものの、大部分の会員は疑問視している。主な疑問と彼の応答を簡単にまとめる。

- 1) Q: 多数中性子を核反応するレンジ (数 f m) に閉じ込めるポテンシャルまたは接着力はないか？ → A) わからないが、中性子が 100 個以上集まって、液滴を作ると思う。→ Q) なぜ 100 個以上の中性子が固まる？→ A) 直感で、そう思う。
- 2) Q: polyneutron が C F 材料原子核と次々と連鎖反応するというが、最初の polyneutron は、どのように生まれたか？ → A) 宇宙線の反応により precursor ができて polyneutron が生まれる。→ Q) どのような反応でどのような precursor ができるのか？ → A) (返答なし)
- 3) Q) polyneutron での中性子間の距離はいくらか？ → A) 普通の原子核の核子間距離 (1fm) の 2 倍くらいと思う。→ Q) どのようにして計算して見積もったのか？ → A) (応答なし)
- 4) Q) polyneutron による連鎖反応で発熱・核変換など主な C F クレームが説明できると言うが、連鎖反応率はどのようにして計算したのか？ 実効増倍率はいくらか？ → A) (応答なし)

Kozima も同様な考えである。彼は「中性子が 10^{12} n/cc 以上の密度で凝集体物質にトラップされるのは、超核力による接着力による」と主張している。ありもしない未定義の力を持ち出す。理論の合理性を超越していて、恐ろしい。Fisher の発想は、核物理の常識では、「多数の中性子を核力レンジに閉じ込める強い相互作用は、中性子間には存在しない」ので、無理と思う。宇宙の果ての「中性子星」では、極端に大きな重力と弱い相互作用の異常増大により、少量の陽子が常に生じていると考えられる。陽子が発生すると、p-n 間に強い相互作用の“のり”が働く。しかし、地上では、このような条件はない。

2.7 古典力学モデルには無理がある (Mills, Muelenberg, Heffner, Storms)

R. Mills は、以前より水素原子には sub-ground-state が存在できるとする **hydrino** モデルを展開している。主量子数 n の逆数の量子状態が存在できて、ミニ水素原子 Hydrino が生まれる、と主張する。通常の水素基底状態のエネルギー 13.6eV より、数倍大きな結合エネルギーをもつ Hydrino に遷移するとき **Black-light** を発生して、過剰熱が発生する、と演繹する。彼の理論では、電子波導関数は、厚さゼロの球面を描くデルタ関数である。中心からの動径上に $R=R_n$, $R_{1/n}$ の球面が Bohr の量子条件を満たすように決まる。どこがおかしいのであろうか？

簡単である。**Heisenberg** の不確定性原理を無視していて、正統な量子力学になっておらず、「量子論の粉飾をした古典力学」なのである。動径不確定性 ΔR をゼロにしているから、電子を古典力学 (Newton 力学) のように大きさゼロの点電荷としていることに対応する。**Heisenberg** の不確定性原理によれば、波動関数はデルタ関数にはなれない。「粒子を大きさゼロの点とみなしたその瞬間に不確定性原理と量子論を否定している。」**H**原子の基底状態では、クーロン引力による中心力と遠心力が釣り合い、波長 332pm のドブロイ波が一周して滑らかに連続するように 3 次元対称性を保っている[2.2-5]。これが $n=1$ の状態で、 $1/n$ のときは、この条件は成立せず、電子は連続的で過渡的な運動をしていて、離散的な固有値をとれない。**Mills** の $1/n$ 状態は、この連続運動 (エネルギーも連続) の連続空間を、 $R_{1/n}$ の動径で輪切りにしたもので、Bohr の古典量子条件を初期単位にして輪切りする理由は、必然的でない。初期単位は任意の大きさに取れる。**R. Mills** の hydrino 論は量子論からはかけ離れた、間違いなのである。**Mills** のモデルでは、電子の波長はゼロであり、質点=点電荷の古典力学的連続運動を、動径方向で任意に輪切りにしたものである。 $n=1$ の状態も任意に選べるので、 $1/n$ は固有値状態にはならない (連続固有値)。

もっと見込みがありそうだがよく見ると古典力学に立脚している最近の論文に、**Muelenberg-Sinha** の lochon モデル[2.7-2]がある。**Storms**[2.7-3]も自己のモデル提唱で同じような間違った観点での推論を展開している。電子を大きさゼロの質点電荷として扱い、不確定性原理を無視したために生まれた誤解が、奇妙なモデル展開に加担している (古典量子論による迷い道の発生)。 H_2^+ イオン型分子は、 $p\text{-}e\text{-}p$ 三体系である。また、 $d\text{-}e\text{-}d\text{-}e$ や $d\text{-}e\text{-}e\text{-}d$ は、4 体系である。**Muelenberg, Heffner, Storms**, に共通する基本古典論概念は、 $p\text{-}e\text{-}p$ 三体系の電子位置また $d\text{-}e\text{-}e\text{-}d$ 四体系の電子ペア (lochon) が、 $d\text{-}d$ 間線分の中点となるように直線状に配置して (または、そうなる瞬間があつて)、重心 (R_{pp} , R_{dd} の中間点) に向かって、強力な凝縮力が少なくとも瞬間的に働いて、 R_{pp} , R_{dd} が核力のレンジ (数 fm 以下) に近づく“瞬間”があるとする「想念」である。

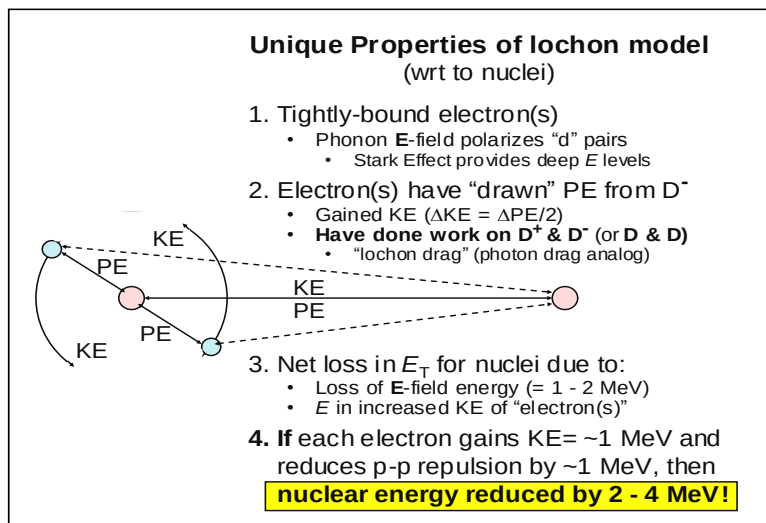


図 2.7-1: Muelenberg-Sinha の lochon モデル。4.の仮定は、*d-d* 間の相対運動エネルギーと強い相互作用レンジでの波動関数の重なり、中間複合核の状態 (*E* 準位) を扱っていないので、誤りである。

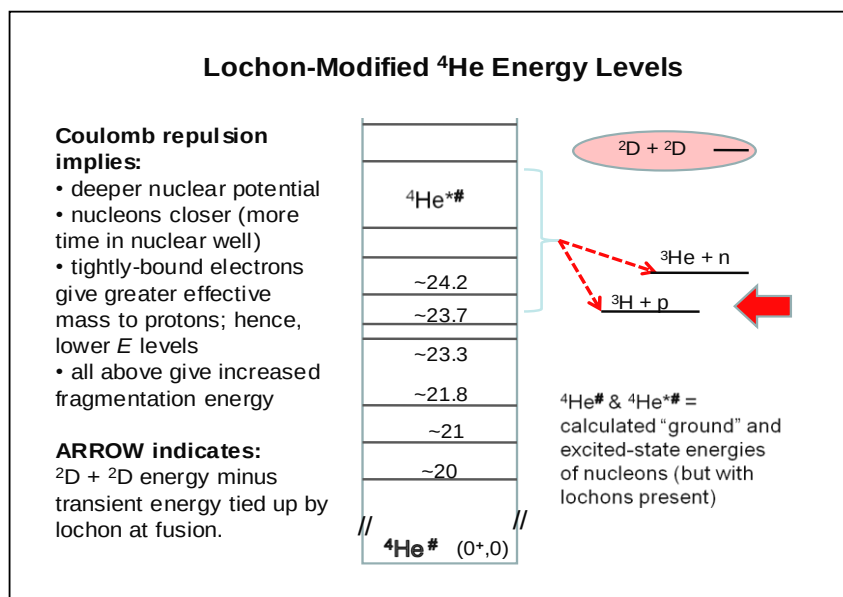


図 2.7-2: 電子対 lochon が複合核 ${}^4\text{He}^*$ の *E* 準位を変える？ (捕捉電磁場ポテンシャル内の重陽子運動エネルギー固有値と強い核力相互作用での複合核準位を間違って混合している。強い核力相互作用をまだ陽に扱っていない。)

量子力学的には、どのような短い過渡的な瞬間にも電子の波動関数は広がって分布していて、*p-p* または *d-d* 間の midpoint から垂直な動径 (*Re*) が描く円上に座標の期待値が載るよ

うになっている。三体系 $p-e-p$ では、 $R_e=52.9\text{pm}$, 四体系 $d-e-e-d$ では、 $R_e=52.9/1.41=37.5\text{pm}$ に電子の期待値座標が生まれ、円上を回転して運動エネルギーの固有値が発生する[2.2-2, 2.2-5]。p-p または d-d 間の中点に電子が存在するウエイト（確率）はゼロである。したがって、量子力学に基づいて理論化すれば、Muelenberg, Heffner(Deflated wave function), Storms たちが、発想したような物理状態は現れないことがわかる。電子を点と見た瞬間に、Heisenberg の不確定性原理を否定してしまっているのである。多くの人が陥り安い罠である[2.7-4,5]。気をつけねばならない。

また、lochon モデルは、電磁相互作用と強い核力相互作用を“混合”してイメージするという間違いを犯している。特に、 $^4\text{He}^*$ の状態の推論が間違っている。(図 2.7-1,2)

[参考文献]

- [2.7-1] R. Mills, et al: Identification of new hydrogen states, (search google)
- [2.7-2] A. Muelenberg, K. Sinha: Tunneling beneath the $^4\text{He}^*$ fragmentation energy, JCMNS, Vol.4, pp.241-255 (2011)
- [2.7-3] E. Storms: Status of cold fusion, Naturwissenschaften, 97(19), 861-881 (2010)
- [2.7-4] F. Mayer, J. Reitz: Electromagnetic composites at the Compton scale, Int. J. Theor. Phys., accepted for publication, September 2011
- [2.7-5] L. Sapogin: An Unified Quantum Field Theory, G.J.S.F.R, July 2011

2.8 核変換 conjectures の合理性(Miley, Vysotskii, ほか)

イリノイ大学の G. Miley 名誉教授は、LENR(Low Energy Nuclear Reaction)といういささか内容が誤解されやすい terminology を最初に持ち込んだ人である。LENR を常温核融合 (CF) の別称として、アメリカ人を中心にして、多くの人が用いる傾向がある。しかし、常温核融合の物理原理が 2.2 節で述べたようなものであるとすると、核反応エネルギーでは高温核融合と変わらないので、LENR は misleading である。

Miley らは、PdNi 薄膜やビーズを用いる軽水・重水電解実験で、異常発熱とともに多様で大量の foreign-elements (試料に含まれない元素) が“発生”するとクレームして ICCF6 で発表して注目された。その後も、継続して研究結果を ICCF Proceedings などに発表してきた。また、“常温で核変換”を起こす理由として、最近になって、非常に大きな (50 以上の原子からなる) 水素・重水素のクラスターが、Inverse Rydberg Matter として CF 実験系に発生すると唱えている。「この巨大 IRM クラスターは、凝縮して非常に縮小し金属原子核と核変換反応を起こす」と想像している[2.8-1]。ICF (レーザー) 核融合のターゲットペレットとしても Miley-Hora が提案している。

Rydberg Matter とはなにか? Google して調べてみてほしい。触媒表面などに平面的に配置した多数の水素など集合体の量子論的な電子波動関数は、3次元球面的にならず、

二次元空間でたとえばハニカム構造のような円管状の形となる場合がある。このとき、

Clusters in Rydberg Matter and in Inverted Rydberg Matter -- An Alternative Case

Catalytic generation of deuterium clusters in surface defects of iron oxide with inter-atomic distance of 2.3 pm

Rydberg Matter: to avoid the formation of covalently bonded H_2 molecules

Distance of atoms in H_2 molecules is 74 pm, but in Rydberg Matter with $\ell = 1$, the distance become 150 pm. These atoms are forming clusters called H(1) or D(1)

Inverted Rydberg matter: occurs when an electron produced the central electric field and the proton (or deuteron) falls into the electron until a radius is reached where the electric field energy gained is equal to the increase of the Fermi-Dirac quantum energy.

“Bohr”-radius d is reduced: $dR/dR^* = (m_D/m_e)^{1/2}$
Calculated Distance = 2.5 pm Measured Distance : 2.3 pm

S. Badiei, L. Andersson & L. Holmlind, Intern. J. Mass Spectrometry 282, 70 (2009)

図 2.8-1: *G. Miley* の巨大 *D-cluster* 形成の *conjecture*

Compound nucleus

(Miley: Transactions ANS 1996)

deuteron cluster

(discussed since 2006: Maruhn-Greiner)

$$^{108}\text{Pd}_{46} + 156 \text{ D} =$$
$$^{306}\text{X}_{126} + 38 \text{ }^3\text{He}_2 + E$$

図 2.8-2: 巨大 *D-cluster* がホストメタル核と核反応するとの、*Miley* のイメージ

原子間隔は、通常の物質よりも相当短くなる。(Rydberg Matter) これは、物性的には面白い状態である。図 2.8-1,2 に G. Miley の conjecture を示す。

しかし、50 個以上の水素・重水素が Rydberg 構造になるとして、その巨大凝縮体がホスト金属原子核を核力相互作用できる数 fm という micro-entity にまで本当に凝縮できるのであろうか？ 図 2.1-3 に示した criteria を Miley の論文[2.8-1]は、まったくクリアしていない。まだ、Primitive Ansatz の段階なのである。(しかし、かなり多くのアメリカ人が、これを新理論だと持ち上げる。困ったことだ。)

TSC 理論(2.2 節参照)で具体的・定量的に量子力学をベースにして扱っているように、多数の粒子からなるクラスターが、micro-entity (中性) へと凝縮できるためには、多数粒子からなる系 (多数系) の重心に向かう「強力な求心力：centripetal force」が存在しなければならない。それは、多数系の電磁力(クーロン力)からなるはずである。TSC 理論では、求心力は、期待値中心が正四面体配置の 4 個の重陽子と 4 個の電子の波動関数が 3 次元空間で対称直交することにより生じている。IRM 巨大クラスターの多数系量子力学でどのようにして求心力が発生できるのであろうか？

さらに、図 2.1-5 に示した核反応の 3 段階をクリアするには、huge-multiparticle-micro-cluster と host-metal-nucleus の間の複雑すぎる核力交換ボソンの定量化理論が要求される。巨大クラスターの核子すべてが同時に、host-metal の核子と核力相互作用するのは絶望的に難しいと思われる。Miley や 10 個以上の D(H) のクラスター凝縮を唱える Storms[2.7-3]は、提案者として、具体的な答えを示す義務がある。

Vysotskii の“生物核変換の理論”[2.8-2]は、途中までは正統的物理である。凝集物質にトラップされた H(D)が調和振動子であるとして、WKB 近似でバリア透過率を扱っている。しかし、その理論を、 $^{55}\text{Mn} + \text{p}$, $^{137}\text{Cs} + \text{p}$, $^{140}\text{Ba} + ^{12}\text{C}$, $^{23}\text{Na} + ^{51}\text{P}$, などの「生物核変換」に適用するのは、以下に批判するように、理論的な飛躍が大きすぎる。

凝集系 H(D)の調和振動子間のクーロンバリア透過問題は、水素・重水素の 1s 電子の内側がすぐに原子核であるために、p-p, p-d, d-d 間の核反応に適用できる。しかし、Li 以上のより重い原子は、K, L, M, などの内殻電子雲を何重にも伴っている。たとえば、 ^{55}Mn に作用する陽子(p)が価電子層 (^{55}Mn の最外殻電子雲) を透過できても、さらに内側の電子層のマイナス電荷で中和するようにトラップされて“化学結合状態=MnH 分子”を形成してしまう。進入する陽子は、 ^{55}Mn の内殻電子層により多重防護されていて、Mn 原子核に近づくことができない。このために、図 2.1-3 にまとめた criteria をまったくクリアできない。初期状態相互作用のバリア透過問題で短絡し、いきなり終状態相互作用の出口(反応チャンネル)を、物理過程をたどることなく、勝手に決め付けている。Vysotskii のように訓練された物理学者でも、このような短絡を犯す。核変換モデルを安易に提唱してきた多くの“非核物理学者”は、もっと初等的な段階 Ansatz ですでに短絡し、終状態の反応生成物(粒子)を勝手に仮定してしまっている(理論とはみなせない)。

[参考文献]

- [2.8-1] G. Miley, X. Yang, H. Hora: Ultra-high density deuteron-cluster electrode for low energy nuclear reactions, JCMNS, Vol.4, 256-268 (2011)
- [2.8.2] V. Vysotskii, A. Kornilova: Low energy nuclear reactions and transmutation of stable and radioisotopes in growing biological systems, JCMNS, Vol.4, pp.146-167 (2011)

3 過剰発熱現象

3.1 ナノ粒子気相系実験の成功と進展(Kobe, NRL, INFN, Colorado)

3.1.1 荒田の公開実験

2008 年春、阪大での公開実験で注目された荒田らのナノ Pd パウダーに重水素ガスをロードする実験は、 ^4He の大量発生が D ガスロードで発生する (H ガスではまったく発生しない) 明確な実験結果を示して注目された。しかし、熱測定の精度を含めて発表論文[3.1-1] は、大変大雑把なものであったのは残念である。しかし、この論文は世界の同業者の注目を集めて、神戸大・テクノバ、NRL(米国海軍研究所)、コロラド大学、INFN(イタリア核物理研究所)・Frascati、などの多くの研究を刺激した (図 3.1.1-1)。急速に、気相法実験は、電解法に並ぶ有力な実験研究の手段になってきた。

荒田型気相吸蔵実験装置の概略を図 3.1.1-2 に示した。彼らは、Pd/ZrO₂ mixture の試料を世界に先駆けて用いた。約 10 ミクロン程度の大きさの ZrO₂-flake に、約 5 nm 粒子径の Pd が分散して配置している。Pd/ZrO₂ mixture の試料粉末を反応容器 (セル) に装荷してから、180 度 C の温度でベーキングしてガス出しをする。そのあと、Pd 膜の温度制御で D(H) ガス透過流量を制御して、D(H) ガスをチャージした。セル温度の変化を示す典型的なデータを図 3.1.1-3,4 に示した。かれらは、Mass-Flow Calorimetry などによる熱量校正は行っていない、温度測定のみである。(ICCF15 の発表では、

Mass-Flow Calorimetry も試みていた。 付録参照。)

気相系CMNE研究グループ

- 日本: 神戸大ーテクノバ共同研究
- 日本: トヨタ中央研究所(日置)
- 日本: 大阪大(荒田); (休止中?)
- 日本: 東京高専(土屋)
- 米国: Naval Research Laboratory, WDC (D. Kidwell, et al.)
- 米国: Coolecence Inc. + Colorado U. (R. Cantwell)
- 米国: Vibr. Inc. (B. Ahern), Boston
- 米国: Denis Cravens, NM, USA
- イタリア: INFN, Frascati (F. Celani)
- フランス: マルセイユ大(JP. Biberian)
- 中国: 精華大学(Li, et al.)
- ロシア: ノボシビルスク大+トムスク大
- アイルランド: (P.J. King)

図 3.1.1-1: ナノ金属粒子・D (H) ガスロード法で研究を進めているグループ

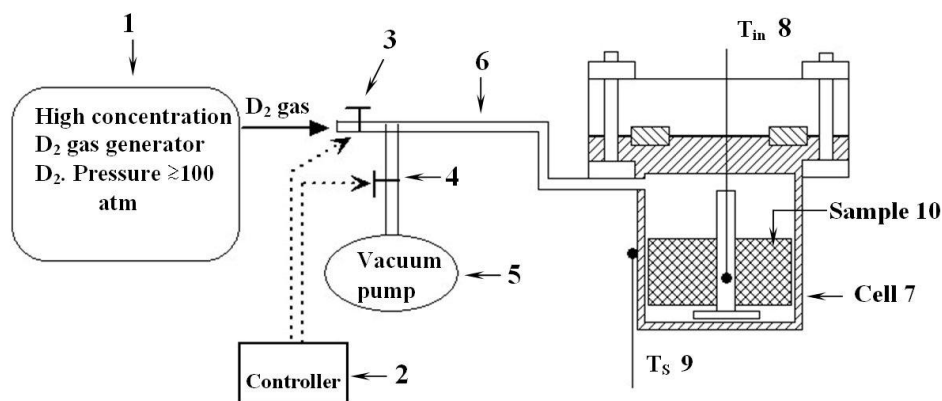


図 3.1.1-2: 荒田-張の気相吸蔵法による実験装置¹⁵⁾ (Schematic view of Arata-type deuterium (or protium)-gas loading system for “nuclear fusion” heat-power evolution¹⁵⁾, 1; high concentration gas generator, 2; controller, 3, 4; valves, 6; gas feed line, 7; reactor cell, 8; inside thermocouple, 9; surface thermocouple, 10: Pd sample powder)

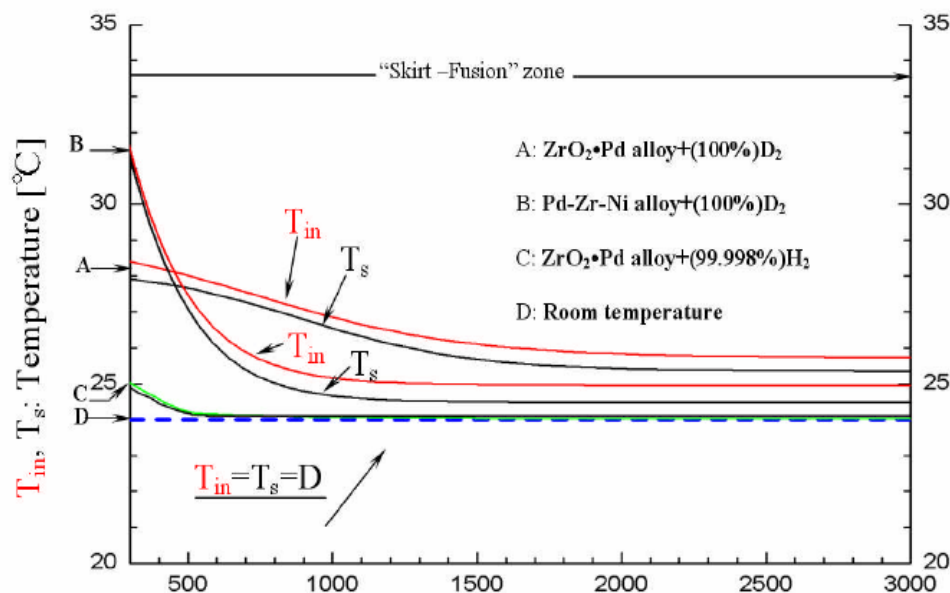


図 3.1.1-4: 荒田—張の気相吸蔵法による実験 15 のセル温度の長時間経過の様子 (Long lasting “higher cell temperature” for Pd-composite samples with D-gas loading, compared with those with H-gas loading, for 300 to 3,000 minute intervals after Phase-I, by Arata and Zhang)

図 3.1.1-5 に示すように、 ^4He は、H-ガスチャージの場合は、まったく見られない。D-ガスチャージの場合は、セルガス中に少量の ^4He の発生がみられる。さらに、Pd 粒子の過熱により ^4He の明確な生成が観測された。これは、“clean fusion”が、Pd ナノ粒子の内部で発生したことを示唆している。

現象は Phase-I と Phase-II に分けてみる事ができる。神戸大—テクノバグループ[3.1-2, 3, 5-11]、豊田中央研究所[3.1-4]、NRL、コロラド大、B. Ahern(Boston)、などが高精度に物理過程を追及する実験を行っている。その結果、荒田が Jet-Fusion と命名した Phase-I の現象は、軽水素 (H) でも、重水素 (D) の 80%程度の異常に大きな発熱があることから、ほとんどが“新しい化学発熱現象”(おそらくナノ金属粒子のメゾ触媒効果[3.1-5, 8, 11])であることが確実となってきた。しかし、重水素系では約 20-30%程度の“過剰発熱”(Hと比べて)があり、その時間依存の異常な振る舞いとあわせて、何らかの核反応熱(たとえば、2.2 節の TSC 理論)成分である可能性が論じられている。Phase-I 現象は、100%の再現性がある。Phase-II の発熱は、D系で起こる傾向があるが、再現条件を突き止められていない。

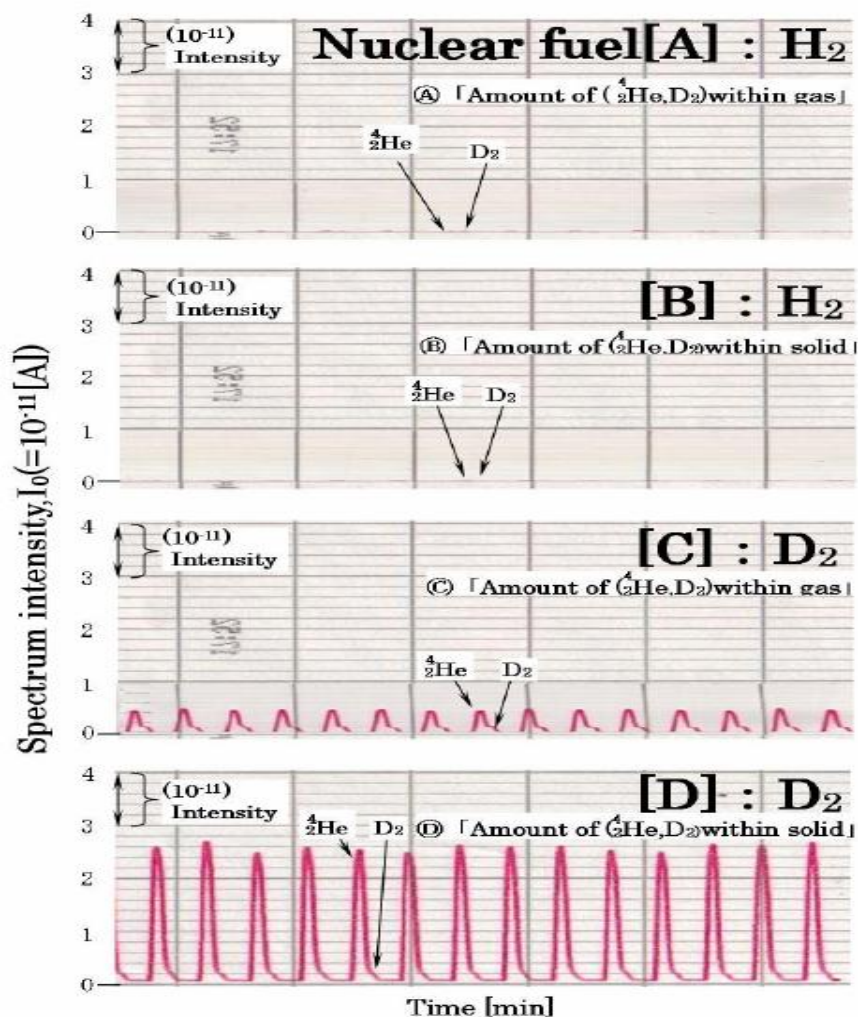


図 3.1.1-5: 荒田—張 15 の気相法実験での ^4He の発生データ (^4He detection by QMAS. Every peak shows a scan (sweep) of near mass-4 area intensit⁵)

以下に、神戸大—テクノバグループの詳細な物理過程追及を重視した研究結果を主体にして、概略(このグループは、この4年間で大量のデータを集積した)を紹介する。

3.1.2 神戸大—Technova の報告：

2008 年度より D(H)ガス同時実験ができる双子系装置を開発設置して、4年間研究を続けている。このプロジェクトの目的などを図 3.1.2-1 に示す。

第一目標の「異常発熱現象の確認」は、完全にクリアされた。第二目標の「物理メカニズムの解明」は、かなり良いところまで出来上がってきた段階にある。第三目標の「高密度新水素エネルギー装置開発への展望」を少しずつ描ける段階にきた。

神戸大ーテクノバGの目的、研究費、実験

目的:

- 金属ナノ粒子パウダーに重水素(軽水素)ガスをチャージする方法での「異常発熱現象」の再現確認(done)
- 背景の物理メカニズム(新核反応、新化学反応)の探求(going-on)
- 高エネルギー密度・小型クリーンエネルギー装置開発研究の実現性評価

計画と実施:

- 約 ¥20M for 2008-2009の経費

- 試験実験室:

神戸大学海事科学研究科

北村晃研究室

2008年度: MDE 設計・設置とテスト
運転・初期データ取得

2009-2010年度: 本格的試験実験
(basic experiments)

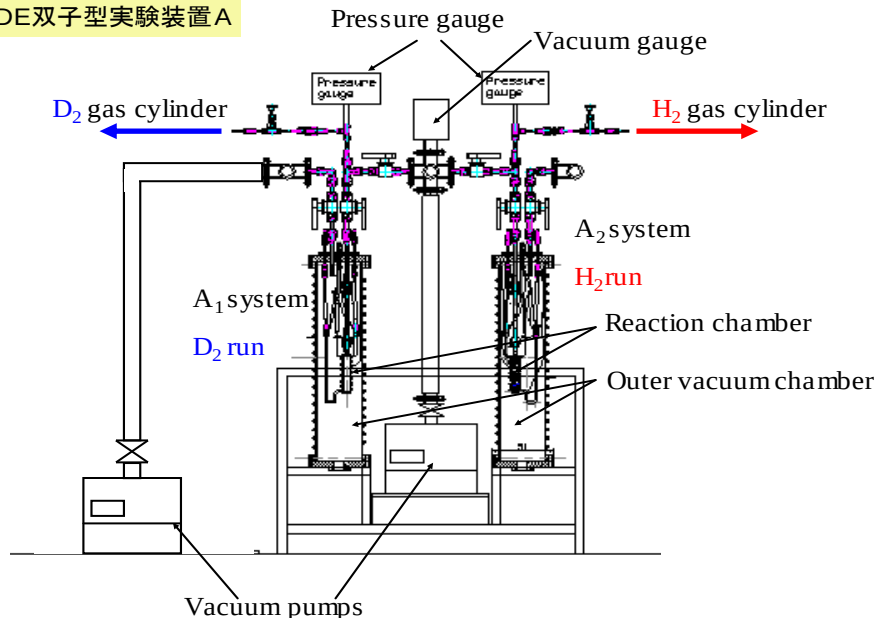
(Papers published in PLA, ACS-LENRSB1-3, AIP-LENR-1SB, etc.)

(presentations at ICCF14,15,16, ACS-NET2008-2011, etc.)

図 3.1.2-1: 神戸大ーテクノバのプロジェクトの目的など

図 3.1.2-2 に双子型ガスロード発熱実験装置の設計図外観を示す。

MDE双子型実験装置A



A₁·A₂ twin system for simultaneous D₂/H₂ absorption experiments.

図 3.1.2-2: 神戸大の双子系実験装置の設計図概観、同じ室温条件で、D (H) 同時実験ランを共通のカロリメトリー用チラー冷却水 (±0.1C に制御) を用いている。

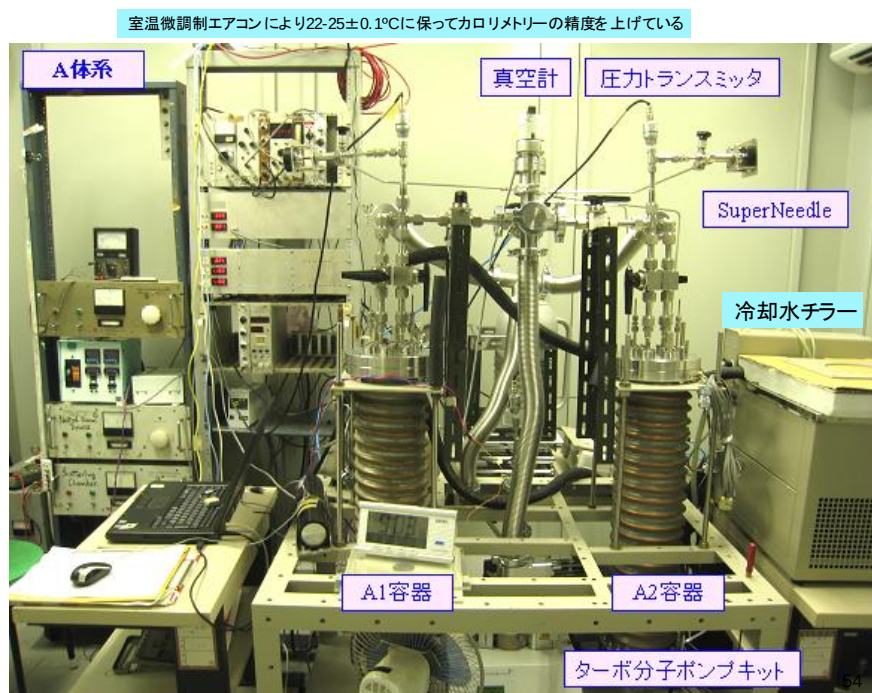


図 3.1.2-3: 神戸大の双子系実験装置の写真

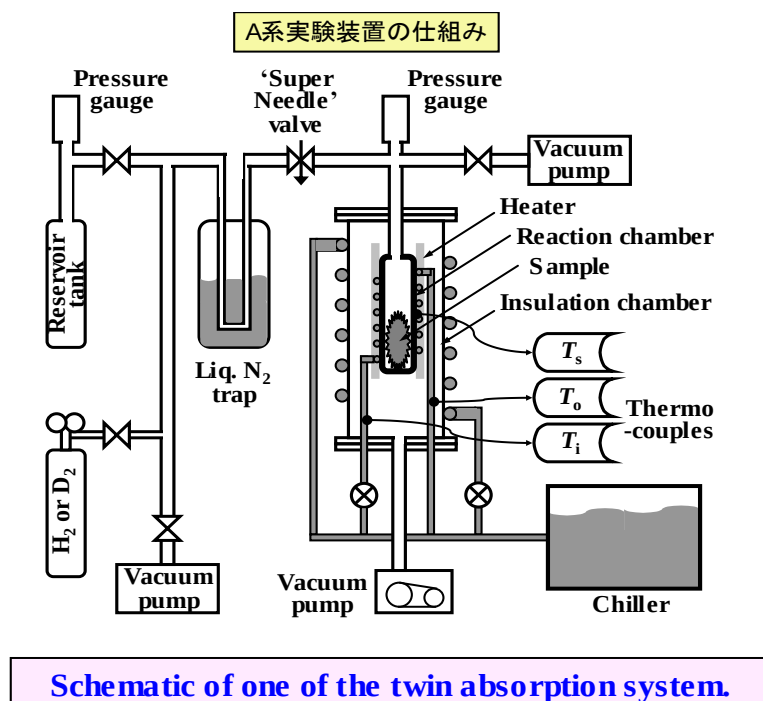


図 3.1.2-4: 双子系装置の半分ユニットの動作原理図

図 3.1.2-4 に動作原理図を示す。実験手順の概略を図 3.1.2-5 に示す。

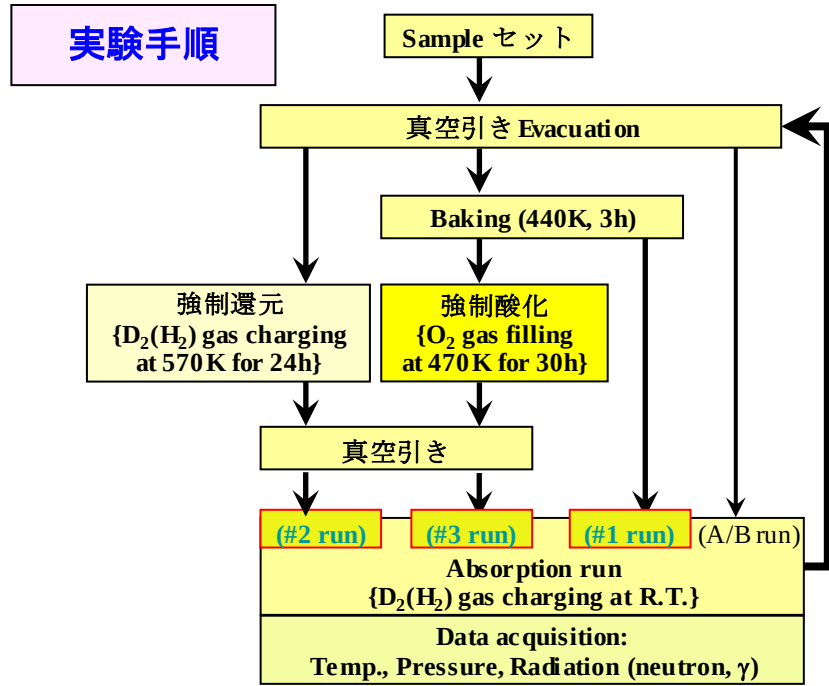


図 3.1.2-5: 神戸大ーテクノバグループの実験手順

試験した金属/セラミックスパウダー試料 (神戸大ーテクノバ)						
	Pd	Ni	Zr	O	Supplier	
100nmφ-Pd PP	995%, 100nmφ	---	---	---	Nilaco Corp.	[1],[2]
Pd-black PB	99.9%, 300mesh	---	---	---	Nilaco Corp.	[1],[2]
mixed oxide PZ	0.346	---	0.654	(1.64)	Santoku Corp.	[1],[2],[3], discussed in the present paper
mixed oxide NZ	---	0.358	0.642	(1.64)	Santoku Corp.	[2]
mixed oxide PNZ	0.105	0.253	0.642	(1.64)	Santoku Corp.	[2]
mixed oxide PNZ2B	0.04	0.29	0.67	(1.67)	Dr. B. Ahern	only briefly in the present paper

[1] Phys. Lett. A, 373 (2009) 3109-3112.

[2] *JCMNS Vol.4*, (AIP Conf. Proc. 1273, ed. Jan Marwan, 2010 shifted to JCMNS).

[3] *JCMNS Vol.5*

図 3.1.2-6: 神戸大ーテクノバグループが公表したテストサンプル種類

Pd粒子が細かいほど発熱量が異常に増加する。
100nm Pd, Pd-black and 10nmPd/PdO/ZrO₂ samples:
Blue by D-charge cf. Red by H-charge

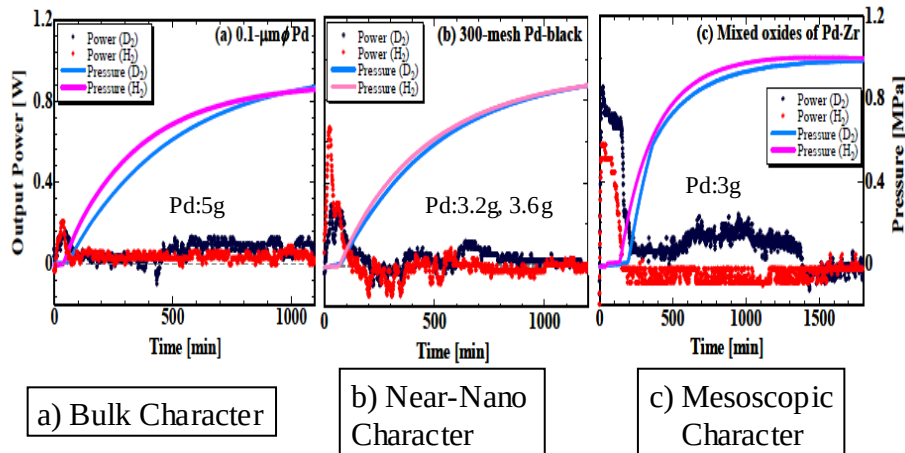


図 3.1.2-7: 典型的な 3 種類の Pd 粒子の発熱特性のパターン、1-10nm 系のナノ粒子で異常に大きな発熱と吸蔵率増大が観測される。Pd black は、バルク Pd との中間的振る舞い。

図 3.1.2-3 に実験装置の写真を載せた。(室温は 22-25 度 C ± 0.1C に制御している。)

初期の成果[3.1-2]から、要点を図 3.1.2-7 にまとめた。粒径 100nm の Pd パウダーは、バルク Pd 金属材で報告されている発熱・D(H)吸蔵特性を示す[3.1-13]。D(H)一個吸蔵当たり、0.2eV の熱エネルギーを発生する。吸蔵率は、0.6 内外である。ZrO₂ セラミックスフレーク (大きさ数 μ) の支持体に分散した 5-10nm 径の Pd ナノ粒子からなるパウダー試料は、バルク試料の 10 倍以上の発熱量で、D(H)吸蔵率、D(H)/Pd、は 2.0 を越すことが多い。この異常な特性の物理はどうなっているのだろうか？ これから述べるように、Pd 粒子は酸化層 PdO で覆われている (特に入荷後の初期状態: #1 ラン) ことがわかっている。「D(H) ガスのチャージにより D(H)₂O が生成して凝縮液化して、見かけ上の吸蔵率増大と異常発熱を示した」[3.1-4]という恐れが議論された。しかし、この節の最後のほうで述べるように、Pd ナノ粒子の試料では、Phase-I の終了までは、PdO の還元はほとんど発生していないことが一連のガス圧と吸蔵率測定値、水の蒸気圧、Phase-Ib の同位体効果の解釈などから明らかとなっている。測定される異常熱は、D(H)の吸着・吸蔵(adsorption/absorption)時に起こると解釈される。図 3.1-8 にまとめた、PP, PB, PNZ, PNZ2B の測定データを比較解析し、酸素添加の効果、還元時の振る舞い、動的結合エネルギー η 値の時間依存の振る舞い[3.1-5-11]を解析し議論する中から、背景物理、とくにメゾ触媒効果や T S C 理論との関連、が浮かび上がってきた。

以下、PP 材から順を追って特性を説明しよう。

大きな粒子径の純Pd試料による実験

100nm diameter Pd (9.2g): PP3,4#3: Raw Data

After 1.9(D), 1.7(H)% PdO/Pd Formation

表面の少量酸化膜でも、大きな効果

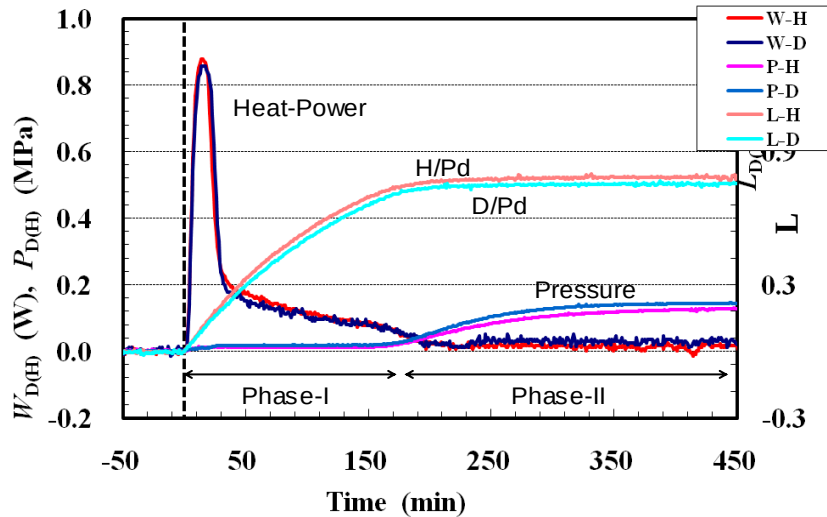


図 3.1.2-8: PP 試料 (バルクの性質) に 2%PdO 添加したときの発熱レベル W , 吸蔵率 L , ガス圧力 P の時間変化。Time=0 で D(H)ガスのチャージを開始した。

新しい物理量の導入

$\eta(t)$ の定義: 結合エネルギー + Alpha(核?):
Time-Dependent Sorption Energy per D(H)-atom

- $L(t)$: Evolution of Loading Rate (Convertible to D(H)/M)
- $W(t)$: Heat-Power Level in watt
- $E(t)$: Evolution of Released Heat

τ : Time Resolution of Calorimetry (5.2-2 min in Kobe Exp.)

$$E(t) = \int_0^t W(t) dt$$

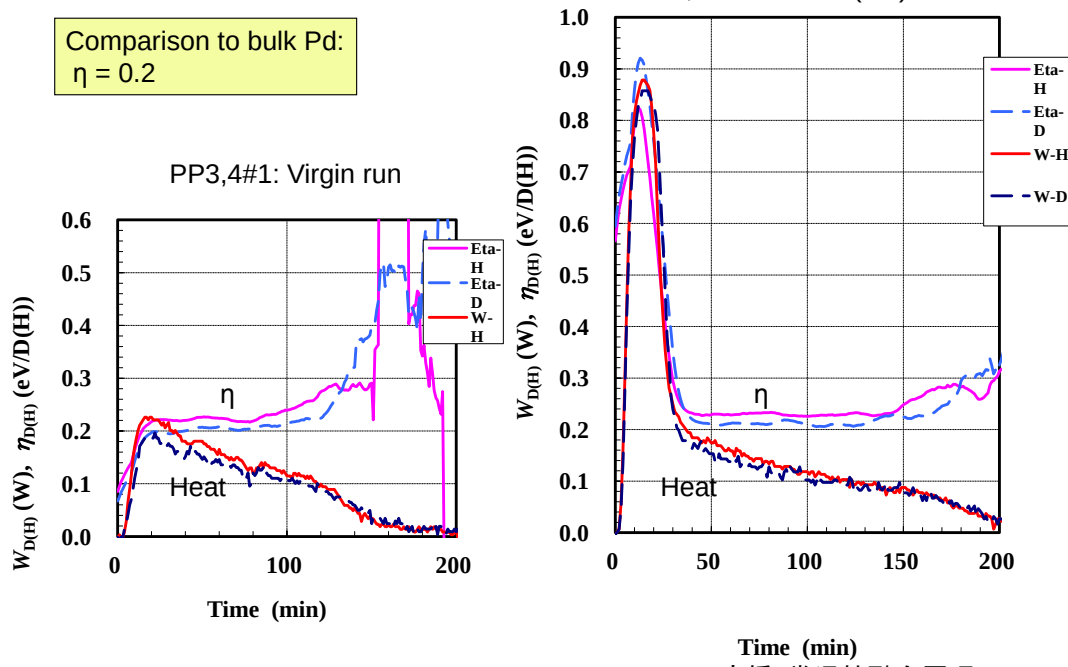
$$\begin{aligned} \eta(t) &= \frac{\overline{(dE/dt)}}{\overline{(dL/dt)}} = \left(\int_t^{t+\tau} \frac{dE}{dt} dt / \tau \right) / \left(\int_t^{t+\tau} \frac{dL}{dt} dt / \tau \right) = \int_t^{t+\tau} dE / \int_t^{t+\tau} dL \\ &= \frac{\Delta E(t, t+\tau)}{\Delta L(t, t+\tau)} = \frac{E(t+\tau) - E(t)}{L(t+\tau) - L(t)} \end{aligned}$$

図 3.1.2-9: 新しく導入した物理量、 η 値の定義。

図 3.1.2-8 にバルク材的な性質を持つ Pd パウダー、PP 試料に 2% (=PdO/Pd 比) の PdO を添加した場合の、発熱レベル W 、吸蔵率 L 増加、ガス圧力変化、の生データを示す。発熱の初期の大きなピーク成分は、PdO 層の効果であることが、#1 ランの発熱変化、図 3.1.2-10 と比較して理解できる。この初期発熱ピーク (Phase-I 発熱総量 $E1$ の約半分を占める) の背景を理解するために、新しい物理量として、 $D(H)$ 一個吸蔵当たりの動的 (時間依存) な発生エネルギー η を、図 3.1.2-9 に定義するように、導入した[3.1-6]。

η 値の動的 (時間依存の) 同位体効果を D と H について比較することにより、「核反応成分」の存在の傍証であることについて、議論できる。すなわち、化学結合のエネルギーは電子交換により生ずるものであるから、D と H でホスト金属と相互作用するときのエネルギー差は、ほとんど無い筈である。(スピンの効果の違いは、10%もないであろう。)

PP3,4 #1(左) and #3(右) (100-nm ϕ Pd):
少量 PdO 層形成の効果は大きい (Ia phase)



高橋: 常温核融合原理 18

図 3.1.2-10: PP 材による結果。左、バージン試料 (#1 ラン)、右、PdO 2 % (#3 ラン)。
 発熱レベル W と η 値の比較

バージン試料(#1)の η 値は、バルク材の値 0.2eV 付近となっていて、時間的に一定である。一方で、2%PdO 添加試料(#3)は、“0.92(0.82)eV for D(H)” にピークを持つ初期成分が顕著に現れている。(2%の酸素が還元して水ができたとして補正しても、結果はほとんど変わらない。もっとも、そのような補正の必要はないことが、後でわかる。) この動的な結合エ

エネルギーは、バルク値 0.2eV の 4-5 倍になっている。バルク材でも表面を少し酸化すれば、顕著な発熱増大効果がある。これは、液相実験（電解法）へのヒントとなる。

さて、Pd 粒子のナノサイズ化により、どのように背景物理は動くのであろうか？

Palladium Black 試料による実験

PB5,6#1: Virgin Runs (10g each)

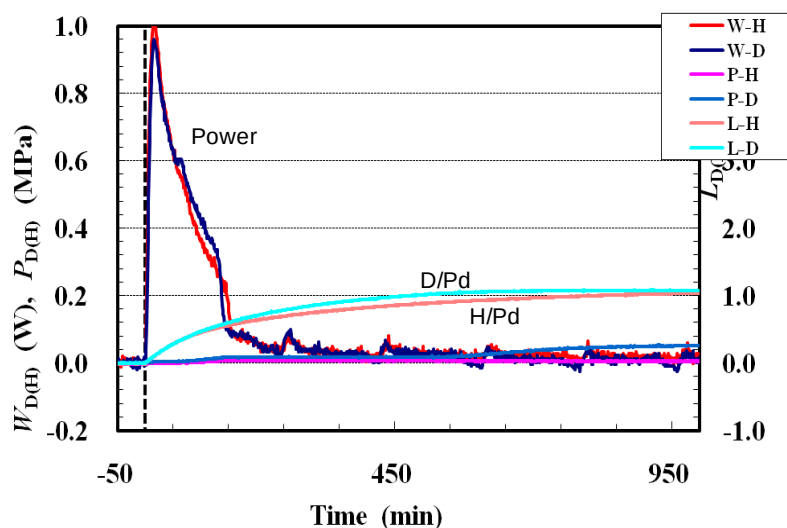


図 3.1.2-11: *Pb-black* (PB)の初期ラン(#1)の生データ、ガス圧上昇は始まっていない。

Ia—Phaseが最初から発生する: PdO層の存在による。
Pd-Black: PB5,6#1; η -values vs. power

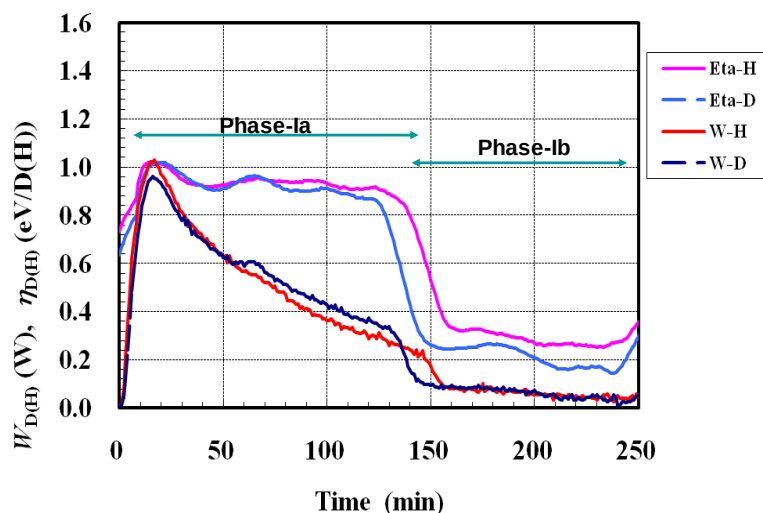


図 3.1.2-12: *PB#1* ランの発熱パワーと η 値の時間変化。Phase-I が、 η 値が 1.0eV 付近と大きな Phase-Ia と η 値がバルク Pd の値 0.2eV に近い Phase-Ib に分けられる。

Pd-Blackの強制酸化は、発熱増大効果 (Ia-Phase)
PB5,6#3: 20(D)-17(H)%PdO/Pd, After Oxidization

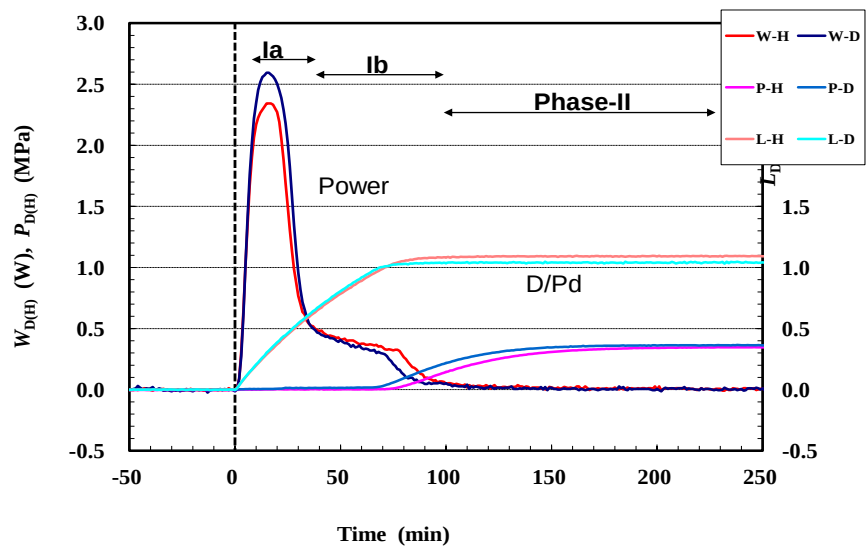


図 3.1.2-13: $PdO(17-20\%)$ を付加した PB 試料での発熱パワー (W)、吸蔵率(L)、ガス圧力(P)の時間変化生データ。 PB 試料は、 $A1, A2$ チェンバーに各 $10g$ セットした。

Pd-Blackの強制酸化は、発熱増大効果 (Ia-Phase)
PB5,6#3 η vs. Power: After Forced Oxidization (2-1.7%)

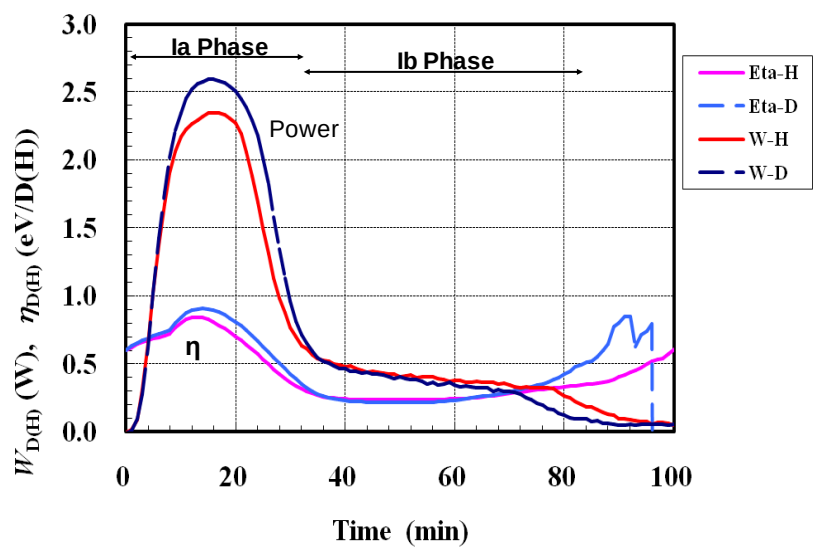


図 3.1.2-14: PdO を付加した PB 試料の発熱パワーと η 値の時間変化

Pd-Black は、煤のような形をした非球形な粉末である。その実効表面積は非常に大きい。

図 3.1.2-11 に PB(Pd-black)試料の#1 ランの生データを示す。図 3.1.2-12 は、パワーレベルと η 値を比較している。図 3.1.2-13 に PdO を約 20%付加したときのラン#3 の生データを示す。図 3.1-14 は、対応する熱パワーと η 値を比較している。酸素を除去した還元ラン(#2)は、バルク Pd のラン(PP の#1)とほとんど同じ特性である(Phase-Ib のみが見れる)。

これらの図からわかることは、PB は、酸素 (PdO) の効果が絶大であることである。PP 試料に比べて、ミクロにフラクタルな表面構造 (実効表面積の増大) に付着して PdO サイトを作る密度が大きい。PdO サイトは、D(H)ガスチャージで少量の Local O-reduction 後の窪み(SNH)を作る。SNH 密度が高いほど、モデル理論で後に説明するように、メゾ触媒効果が大きくなる。SNH 密度が D(H)吸蔵の高速化・増大と発熱量増大を支配する。

図 3.1-15 に Phase-I の積算発熱量と脱蔵 (desorption) 時の吸熱量の履歴を図示している。

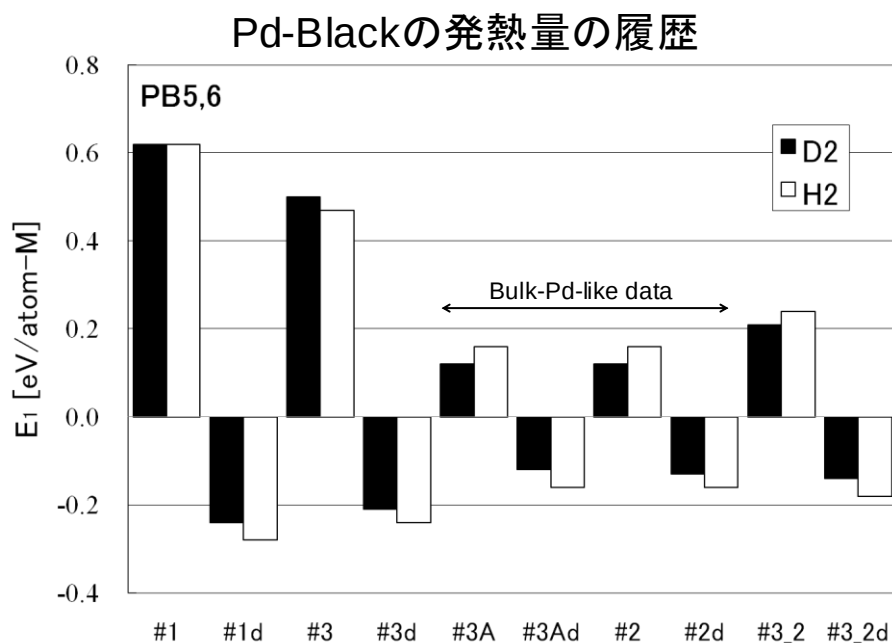


図 3.1.2-15: PB 試料の Phase-I 積分熱量と脱蔵吸熱量の履歴データ

数回のランの後、酸化しての PdO 付加を行っても、発熱と吸蔵の性能はほとんど回復しない。バルク Pd の性能に簡単に近づく。この理由は、Pb-black の粉が寄せ集まって (aggregation, clumping-together or sintering) 大きな塊になり、バルク Pd の性質になってしまうことによる。PB の#1 ランの性能はすばらしいが、寿命が短いのである。大粒径化を防ぐには、粒子を固定して強制分離状態にする必要がある。また、実効表面積を大きくして、SNH サイトの密度を増やすためには、ナノサイズの粒子が有利である。

メゾ触媒効果 (Mesoscopic Catalyst) : 後述

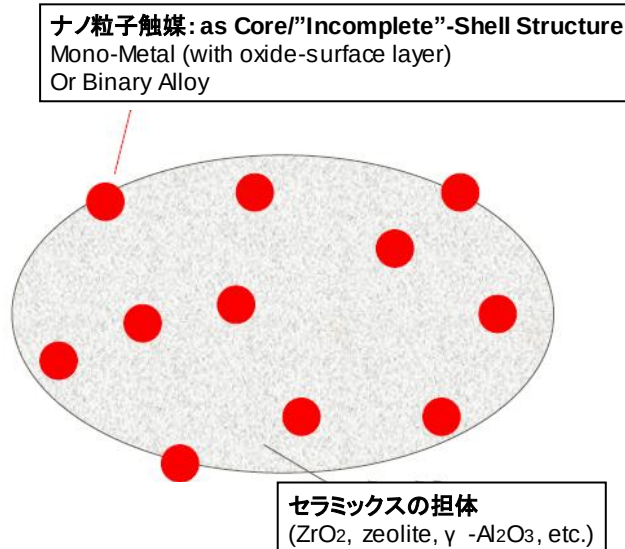


図 3.1.2-16: 金属ナノ粒子 (1-10nm diam) と担体のセラミックス片 (数ミクロン) よりなる複合パウダー試料が、*CMNS/CF* 研究に新たな展開をもたらしつつある。

Nano-metal/ceramics の複合試料のアイディアを図 3.1.2-16 に示す。

セラミックスの担体(supporter)としては、 ZrO_2 が多く用いられてきたが、豊田中研、NRL, コロラド大、神戸大一テクノバなどの研究により、ゼオライトやシリカ系、アルミナ系の担体も同様に有効であることがわかってきた。要は、ナノサイズの細孔(nano pore)をもつ物質にナノサイズ金属粒子を入れ込む構造である。

金属ナノ粒子は、Pd の 1-10nm サイズ (直径) のものが有効と思われる。これは、後にモデル化するメゾ系の量子論的集団ポテンシャル (GMPW: global mesoscopic potential well) が有効に形成されるナノサイズである。それより大きすぎても (例: 100nm 径の PP 試料)、小さすぎてもうまく働かない。金属が単体のときは、酸化層 MO が GMPW サイト形成の種となる。2 元素混合ナノ粒子 (Pd_1Ni_7 など) は、酸素の助けが不要で、還元状態でも非常に有効に働く。Pd を Cu などの他元素に置き換える試みが行われている。

より高性能のナノ複合試料の作成が、発熱量増大と持続時間延長の鍵を握っているように思われる。

本報告では、PZ(Pd/ZrO_2), PNZ($\text{Pd}_x\text{Ni}_y/\text{ZrO}_2$)の型の試料についての試験結果を紹介しよう。実験に用いた各チェンバー (A1, A2) 当たりの実効的なナノ金属量は、1-2g である。すなわち、PP, PB 試料の実験の 1/10 から 1/5 の量であるが、発熱密度の増大により、十分な精度のカロリメトリーが、可能であった。

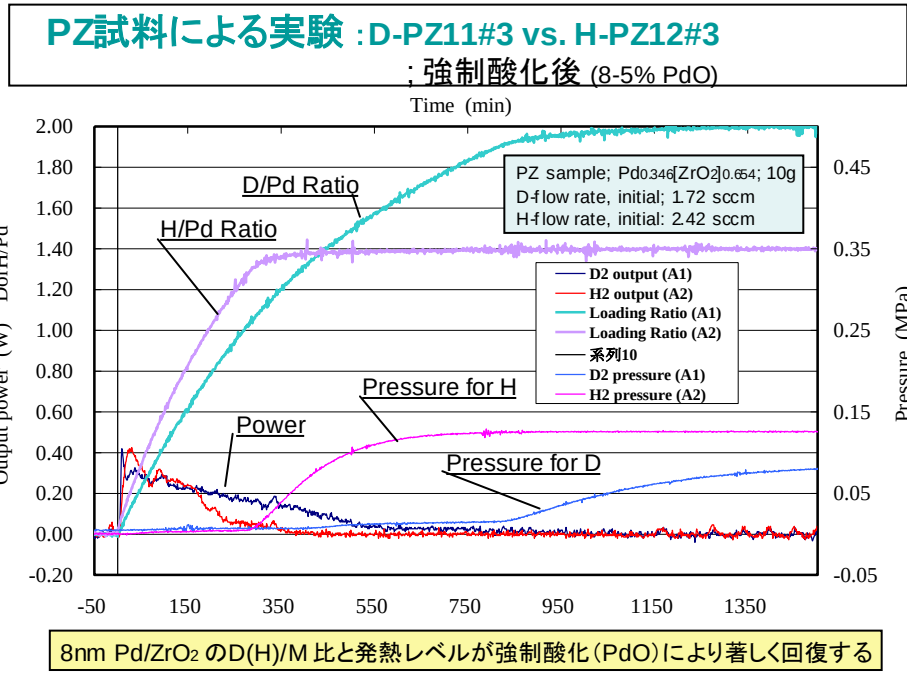


図 3.1.2-17: PZ 試料による酸化処理後のラン(#3)の例。吸蔵率は 1.0 を遥かに越し、発熱量密度が大きく、同位体効果が大きい。

D/H同位体効果の比較: 発熱パワー (W), energy per D(H) sorption = η , η_D / η_H 比
 :D-PZ11#3 vs. H-PZ12#3: 使用済み試料の強制酸化(5-8% PdO) 後

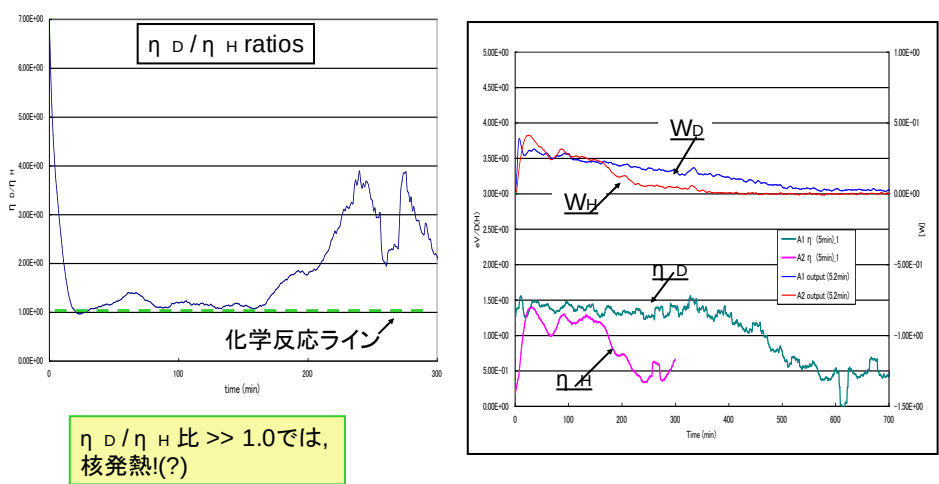


図 3.1.2-18: PZ 試料#3 の発熱量と η 値 (右)、 η 値の同位体効果を比で見る (左)

PZ 試料の酸化処理後のデータ例を図 3.1.2-17 に、 η 値特性を図 3.1.2-19 に示す。核反応との関連で特に注目されるのは、 η 値の同位対比が、実験開始直後から非常に大きな値 (6.5) となっていることである。TSC の表面 SNH サイトでの形成と 4D/TSC 核融合の発生割合の討論を文献[3.1-5]で展開している。 η 比が 1.2 を越すと、通常の化学反応の同位体効果で説明するのは難しい。電子交換による結合力は、D も H もほぼ同じであると考えられるからである。Phase-Ia では、#1 ランと#3 ラン (とその繰り返し) で、PZ 試料については、 η 値の D/H 比の動きは同じ傾向にある。

Integrated Heat Data (Phase-Ia) for PZ11 and PZ12

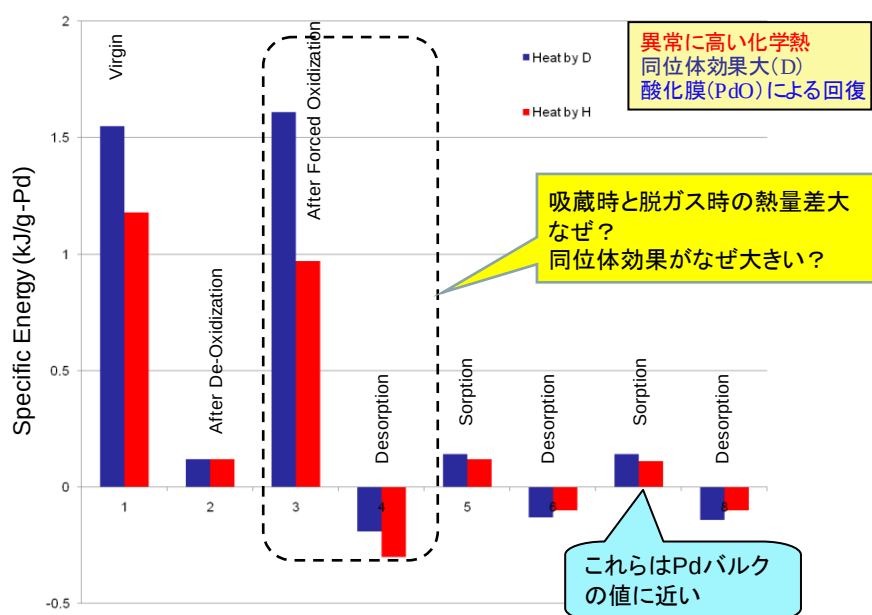


図 3.1.2-19: PZ 試料の Phase-I の積分発熱量、脱蔵時の吸熱量の履歴

図 3.1.2-19 に PZ 試料の Phase-I の積分発熱量、脱蔵時の吸熱量の履歴を示した。バルク Pd の特性と比べると、発熱量は 10 倍近い。酸化処理後で特に同位体効果が大きく、脱蔵時のエネルギーが普通の化学反応にしては小さ過ぎる。どのような物理がこの現象を支配しているのであろうか？ 吸蔵と脱蔵がともに化学反応と仮定すると、吸蔵時の大きな発熱量 (エネルギー) は、脱蔵 (真空排気による) 後も非常にゆっくりと進行し (吸熱レベルが図れないほど低いレベルで) 環境から熱を吸収しなければ、エネルギーバランスがとれない。もちろん、H系でも (D系同様に) 核反応成分 (2.3 節参照) があるとすれば、説明の助けになるのだが、理論的なギャップは大きい。(メゾ触媒効果での説明を後ほど行う。)

PZ 試料で観測された Phase-Ia+Ib の現象は、再現性は 100%である。ただし、発熱パワーの時間変化、吸蔵率 L の変化、それらの繰り返し使用による履歴は、実験条件 (ガス流

量の調整、酸化量の調整、など）により変化する。図 3.1.2-20 に別ランの結果を示す。

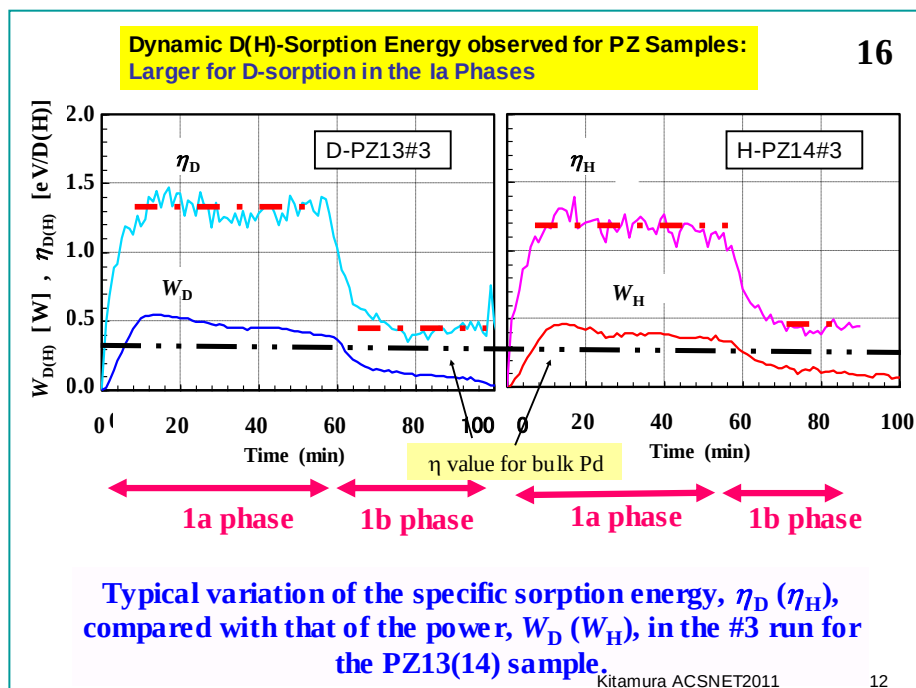


図 3.1.2-20: PZ 試料酸化処理後の発熱特性の同位体効果の比較 (D,H のガス流量同じ)

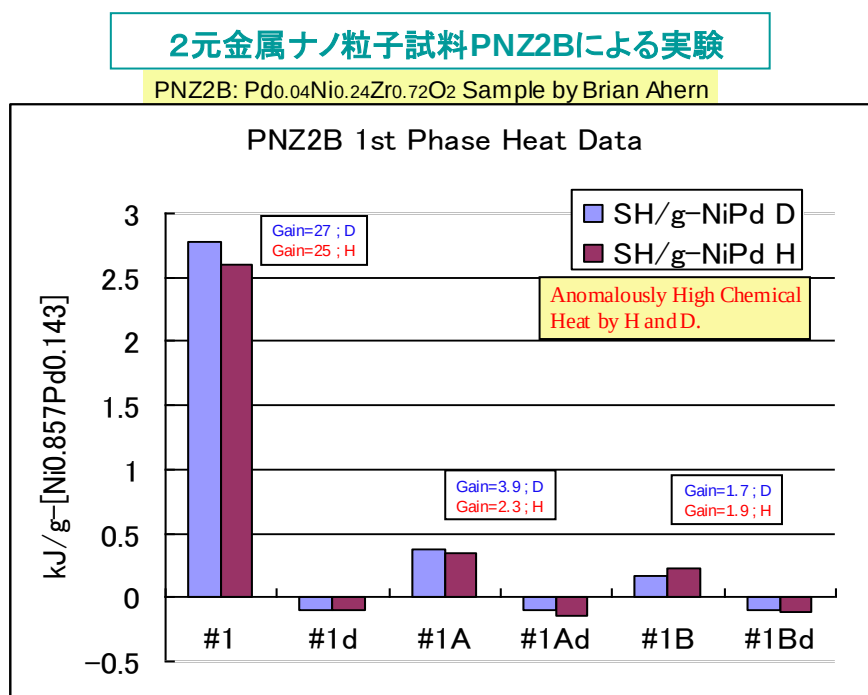


図 3.1.2-21 二元ナノ粒子試料 PNZ2B のバージンランの Phase-I の積分熱量。A, B は baking なしで吸蔵と脱蔵を繰り返すラン。Gain = (Sorption·E)/(Desorption·E)

さて次に、二元ナノ粒子 (Pd_xNi_y) / ZrO_2 試料、PNZ、PNZ2B を用いた実験結果を述べよう。PNZ は、 Pd_2Ni_6 の配合の二元ナノ粒子を用いている。この試料による実験結果は、定性的には、Pd の 1g または Pd の一原子あたりに換算すると PZ 試料と同じ異常発熱と異常吸蔵の特性を示した。すなわち Ni 成分は、発熱と D(H)吸蔵に関係しないという結果であった。

念のため、Pd 成分を抜いた試料、NZ (Ni/ZrO_2)試料で実験を行ったところ、常温 (25 度 C) では、有意の発熱と D(H)吸蔵を観測できなかった。(どちらもゼロ)

次に、 Pd_1Ni_7 の配合の二元ナノ粒子を用いている PNZ2B 試料による実験を行ったところ、金属量(Pd_1Ni_7)あたりの発熱量と D(H)吸蔵量が、PZ 試料の Pd あたりの量を大きく上回るという、異常なデータが多数回繰り返し、観測された。しかも、還元後のラン (#2) でも、#1(virgin)や#3(after-oxidized)と同等の発熱・吸蔵量となった。この結果を概観する。

図 3.1.2-21 に PNZ2B1(2)#1 ランの Phase-I の積分発熱量と脱蔵時の吸熱量のデータを示す。A, B は、baking なしに吸蔵した場合である。(Gain) = (Sorption-E)/(Desorption-E) である。普通のバルクメタルの場合は、化学反応的に当然であるが、Desorption 時に系に取り込んだエネルギー (Sorption-E) が、Sorption 時に系から放出されるので、Gain=1 となるはずである。しかし、#1/#1d の比較では、gain が 20 倍を越している。A, B ランでも 4-2 倍の gain が減衰しながらであるが、残っている。

新しい PNZ2B 試料で、PNZ2B3(4)#1, #2, #3 のランを行って、再現性が確かめられた。図 3.1.2-22 に#1 ランの生データを示す。続いて、図 3.1.2-23 に#2 (還元後) ランの生データ、図 3.1.2-24 に#3(酸化後)の生データを示す。

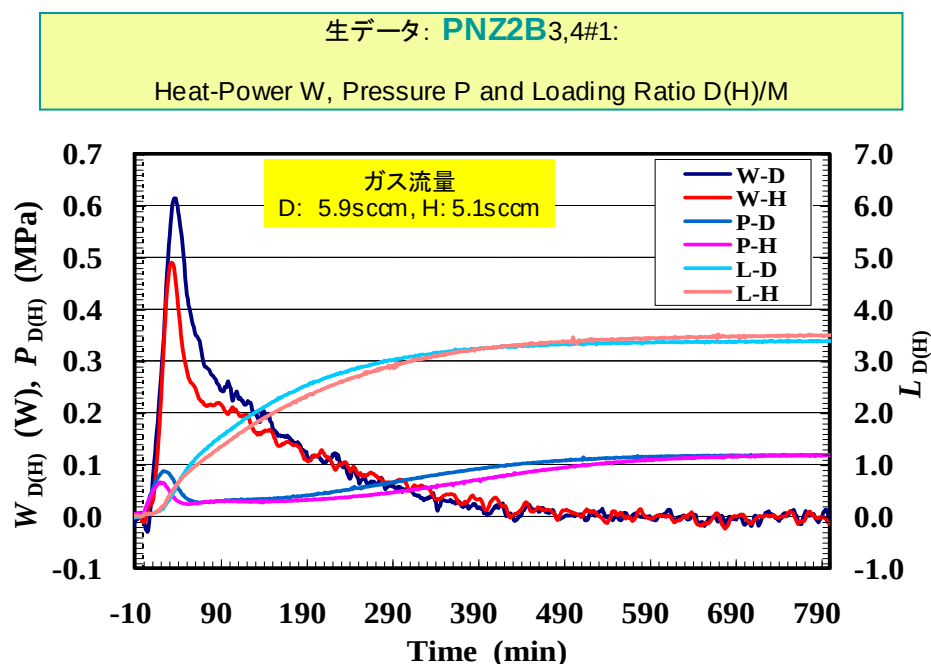


図 3.1.2-22: 二元ナノ粒子試料 PNZ2B による#1 ランの生データ

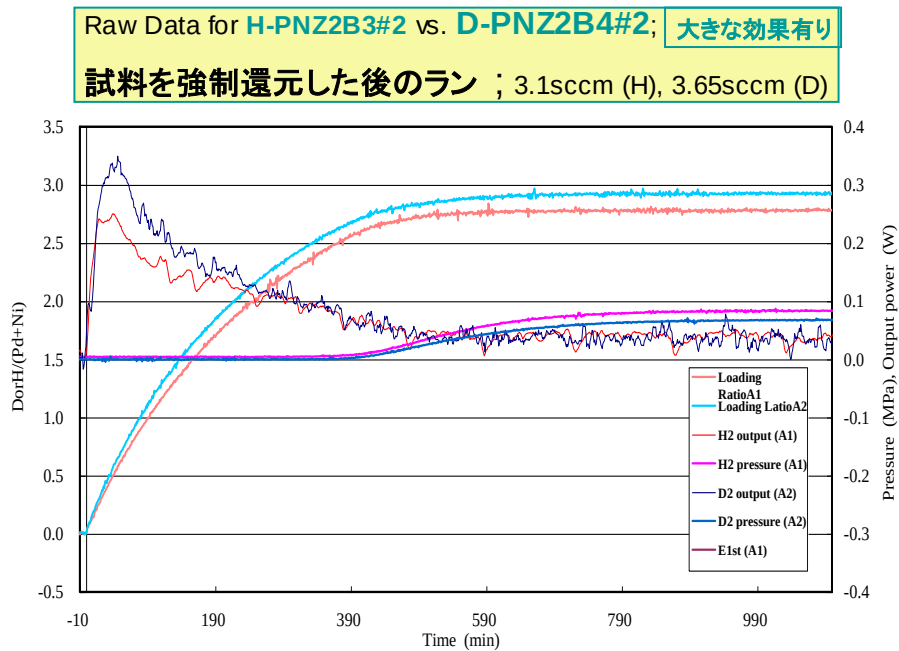


図 3.1.2-23: PNZ2B 試料の#2 (還元後) ランの生データ (A1:H, A2:D)

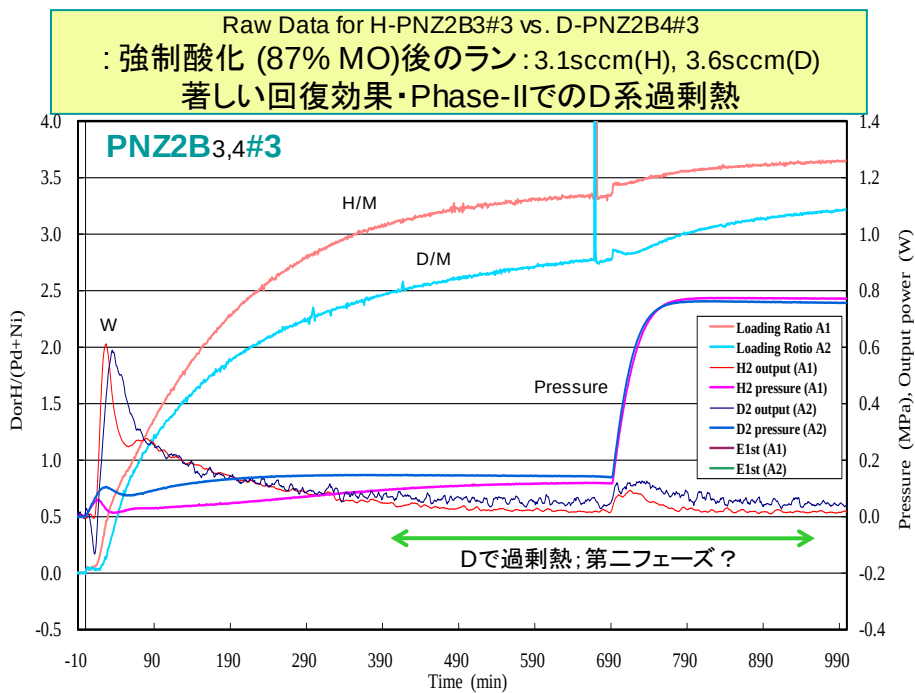


図 3.1.2-24: PNZ2B 試料の#3 (酸化後) ランの生データ (680 分の L のスパイクは、圧力バルブ切り替えによるノイズ)

η 値比の動特性 (D/H) は、1.0 を 30%以上も上回る時間領域が、#1, #2, #3 とともに発生している。#3 の例を図 3.1.2-25 に示す。

PNZ2B 使用済み試料の強制酸化(8%MO)後のラン

: Heat-Power (W), Energy per D(H)-sorption (η) and η_D/η_H

核発熱らしい: Nuclear Effect for $\eta_D/\eta_H \gg 1.0$!(?)

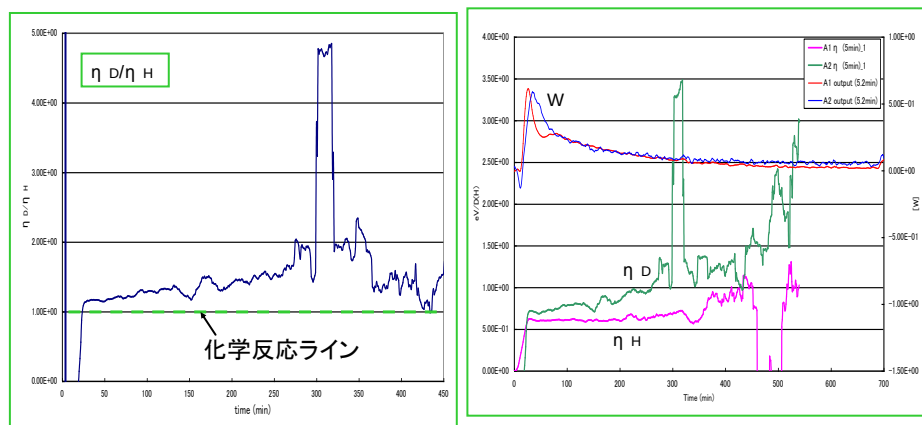


図 3.1.2-25: PNZ2B3(4)#3 ランにおける η 値、その同位体比 (左図)、熱パワー W のデータ。

軽水素の η 値が約 300 分間一定値(0.6eV 付近)となっているのが注目される。これは、約 0.6eV が D(H)吸蔵の化学結合エネルギーであること (H系では、この時間領域で異常な発熱化学反応をするメカニズムがある) を示していると思われる。#1, #2 のデータも同様である。(PNZ2B では、初期を除いて、MO 層の発熱への影響は小さいことを示す。)

一方で、重水素の η 値は、時間の経過とともにだんだんと増大していて、発熱同位体比 (左図) は、2.0 付近の異常に大きな値に増加し、バースト状のピークも出ている。このデータを、化学反応の何らかの異常性で説明できるのであろうか? 2.2 節で紹介したような、凝集系独特の核反応生起での説明が必要であるように考えられる。(核反応の傍証)

ところで、#1(図 3.1-24), #3(図 3.1-26)のデータで、ガスチャージ開始後すぐに、ガス圧にバンプ (バースト) が出ている。還元後ラン#2(図 3.1.2-23)には、このバンプは見られず、ガス圧“ゼロ”での発熱と吸蔵率の飽和 (3.0 近くの大きな値!) 現象は、PZ 試料の Phase-I 現象と同じである。この原因は、#1, #3 で水蒸気 (MO の“一部”還元による) が発生して、約 10 分の時間で凝縮液化したためと思われる。

図 3.1.2-26 を見ていただきたい。約 50kPa のガス圧でピークができた後、14kPa 付近に下

がって平衡している。資料中 50%MO のうち半分が、 $\text{H(D)}_2\text{O}$ ガスになったとすると、A1(A2) チェンバー内は、約 50kPa となる。25 度Cでの水の蒸気圧は、5kPa 付近である。一度発生した水蒸気バーストが、ほとんど凝縮液化したとするとこのバーストの説明ができる。

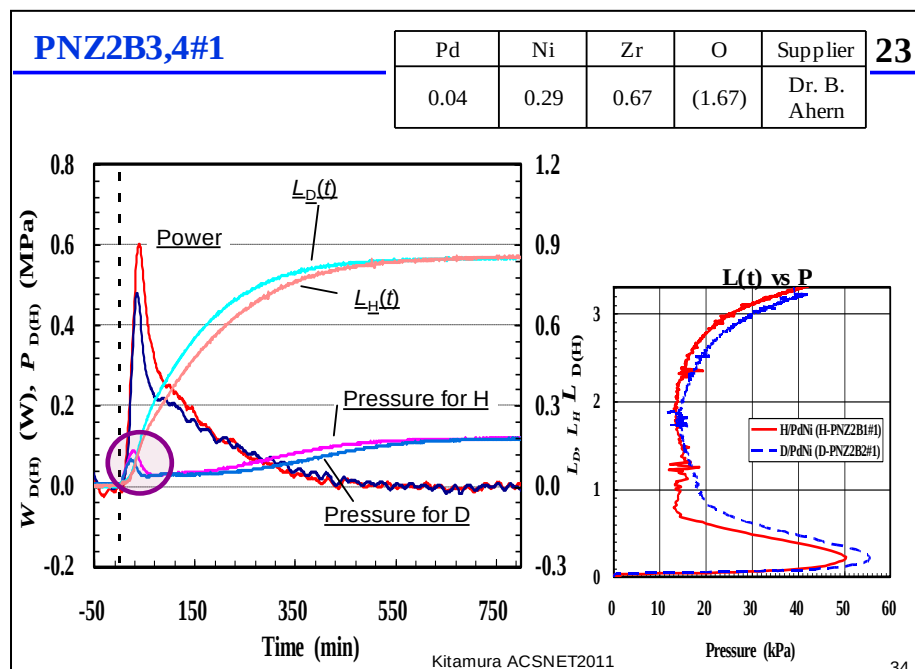


図 3.1.2-26: PNZ2B 試料の#1 ランにおけるガス圧の初期バースト (左) と $D(H)$ 吸蔵率との関係 (右)

この水蒸気の液化により、吸蔵率測定値 (右図) のうち、約 0.5 が見かけ上大きめに出た値ということになる。(Lの補正を行う必要あり。) この時間帯で、 η 値は非常に小さいか負の値となっている (図 3.1.2-25 右図も同じ)。PNZ2B 表面触媒作用で、水形成の発熱エネルギーが、自由空間の通常値より、相当小さくなっていると推論される。また、バースト状に発生した水蒸気の液化時にチェンバー気圧が低下して温度が下がる効果も加味しなければならない。(二元ナノ金属粒子の酸素付着は、どうなっているのでしょうか?)

さて、PZ 試料の場合は、この圧力バーストはまったく観測されていない。図 3.1.2-27 に示すように、Phase-Ia の領域では、ガス圧は 5kPa 以下で、時間とともにゆっくりと上昇している。このとき吸蔵率測定値は、1.0 を越している。5kPa が水蒸気だと仮定しても、#3 酸化量の約 2%に過ぎない。Phase-Ib の領域を見ると、D (H)間のガス圧の同位体効果が非常に大きい。これは、通常のパルクの Pd で見られる知られた同位体効果である (Pd バルク格子の D と H の拡散係数の違い=Bloch-Potential での量子トンネル効果の違いで説明できる)。この間に PdO の還元が進んで水蒸気ができたとすると、このカーブは説明できない。すなわち、Phase-I の終了時点までには、PdO の還元はほとんど進んでいないこ

とになる。

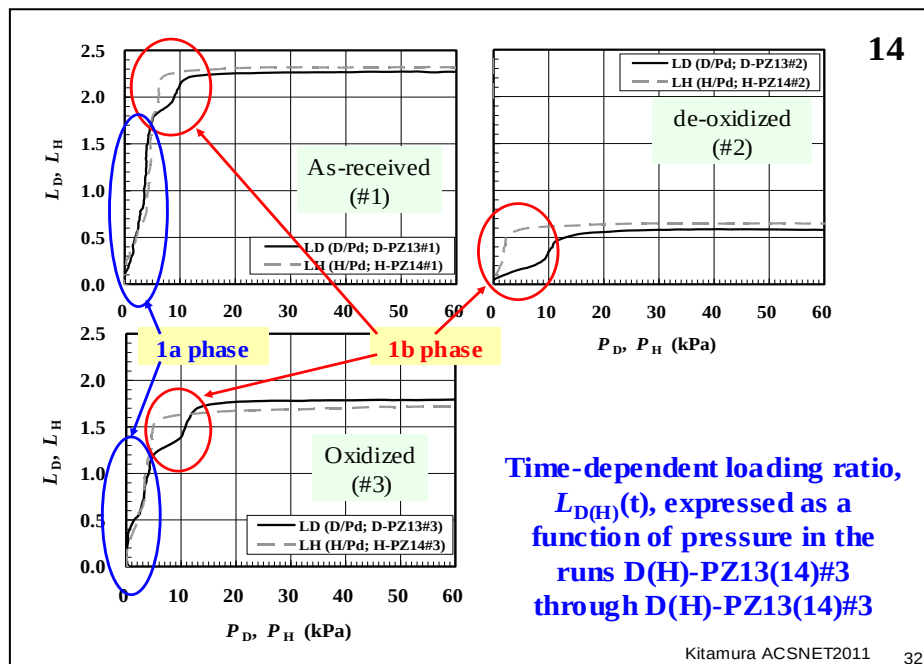


図 3.1.2-27: PZ 試料における吸蔵率とガス圧の関係 (Phase-1a, 1b で明確な違い)

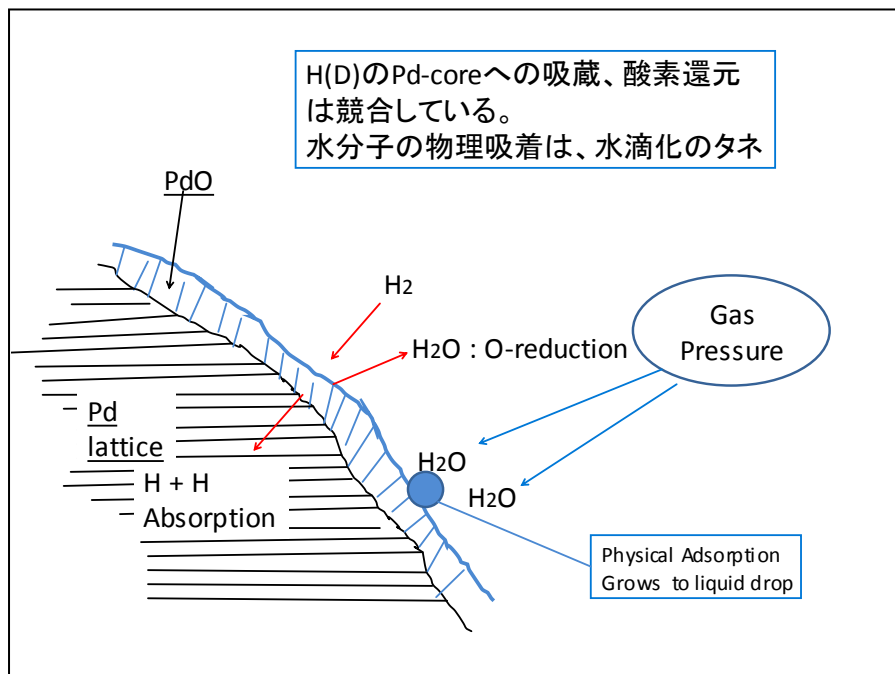
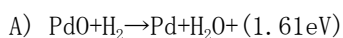


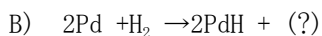
図 3.1.2-28: 酸化膜付 Pd ナノ粒子への水素ガスチャージでは、 H_2 の乖離取り込みと酸素還元（水分子生成と放出、表面物理吸着から水滴化の過程）が競合しているが、Pd の $2H$ 吸蔵反応が優勢に進むと考えられる (Pd の最外殻 4d 電子 8 個が PdO にあり、活性)。

図 3.1.2-28 に、PdO/Pd 系の水素吸蔵と酸素離脱（水分子放出）の競合過程のイメージを図示した。PZ, PS では、Pd への D(H)吸蔵と O-reduction（H₂O 生成）は競合過程。Pd 4d 電子が PdO 状態でも 8 個活性であることから、吸蔵過程の方が早いと考えられる。一方で、水分子の表面への物理吸着は、水滴へと成長するタネとなる。吸着と液化は、つながった過程である。だから、水分子が増えるとガス圧が必ず上昇するだろう。その過程は、吸着(Pd, ZrO₂, SiO₂ 表面へ) した水分子は表面を転がって、他の水分子と出会い、次第に大きな塊（水滴）となる。水滴からは蒸気がでて、付着方向の水分子量と平衡する（平衡圧力となる：蒸気圧）。競合過程は、複雑で詳しい理解には、多角度からの吟味必要とする。

ところで、



と競合する H₂ の乖離吸蔵過程



であるが、PdO の Pd は、束縛されない価電子（4d 電子）が 8 個余っているから、H₂ を乖離吸蔵する能力が十分高い。一方で、NiO は、1) 4s 電子（最外殻）が 0 に 2 個束縛されたとなると、内殻の 3d 電子 8 個が化学活性に働く。したがって H₂ 乖離吸蔵の能力は低い。2) 3d 電子 2 個が 0 に束縛されたとなると、残りの 3d 電子 6 個が化学活性に働く。この場合も、inner-shell 電子なので、H₂ 乖離吸蔵能力は低い。

つまり、PdO 層での H₂ 乖離吸蔵と O-reduction の競合過程は、複雑にリンクした多体相互作用となっていて（これが PdO 触媒作用の本質？）簡単でない。

この最外殻電子の作用の違いが、PdO では O-reduction が起こりにくく (PP, PB, PZ, PS の場合)、NiO では、H₂O がしやすい (PNZ2B の場合) と考えてはどうだろうか。しかし、PNZ2B では、初期に O-reduction が“一部”起こっているが、A, B ランでは（#2 と比べるとわかるが）MO 層が残っている（D(H)吸蔵の多くが残っている）と考えないと、#2 との違いが説明できない。

まだまだ、つじつま合わせを徹底しなければ、現象を完全に解明出来ない段階である。

少し単純化しすぎかもしれないが、PNZ2B で初期に水蒸気の圧力バーストが #1, #3 ランで発生し、#2 ランではまったく発生しない理由として、図 3.1.2-29, 30 のような過程がモデル化できる。

- #1, #3（酸化後）では、表面の MO 層が、SNH (Sub-Nano-Hole) を塞ぐために、D₂(H₂) ガスの吸着乖離から Ni-core への吸蔵が進まない。
- そのために、O-reduction (水分子形成) が最初に関わり、蒸気圧のバーストが発生する。
- 水分子の一部は、表面吸着から水滴へと変わる。
- O-reduction で SNH が回復すると #2 状態となり、D(H) 吸蔵が始まる。（図 3.1-32 参照）
- 一方で、PZ, PS 型試料 (Pd-nano-particle) では、一部の O-reduction site できると SNH が形成される。SNH 経由での急速な D(H) 吸蔵が起こり、反応は全体の O-reduction

よりも早く進む。

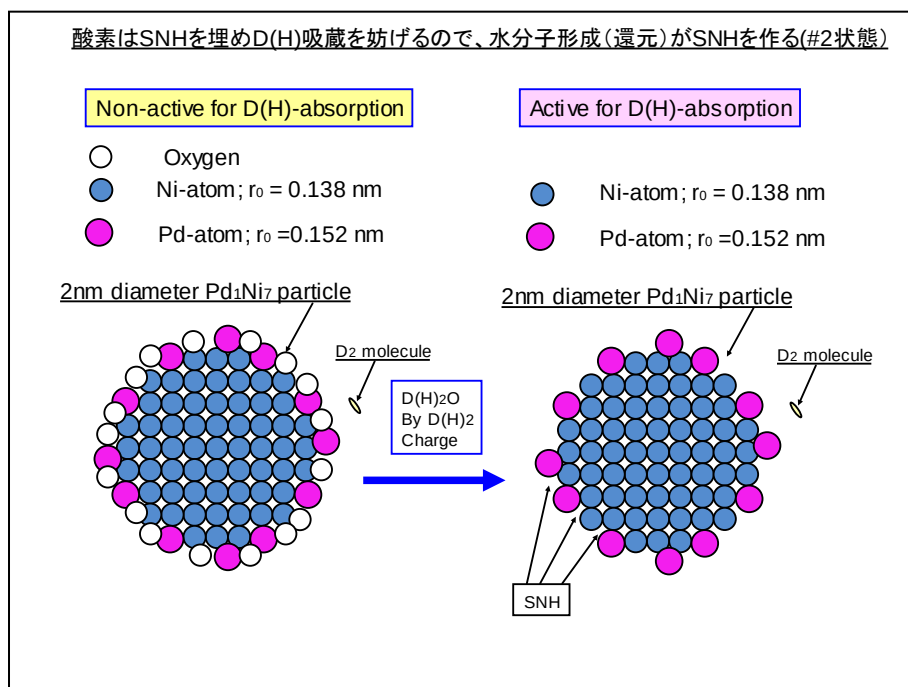


図 3. 1. 2-29: 二元ナノ粒子試料 (PNZ2B) の酸化膜の H(D)-ガスチャージによる除去

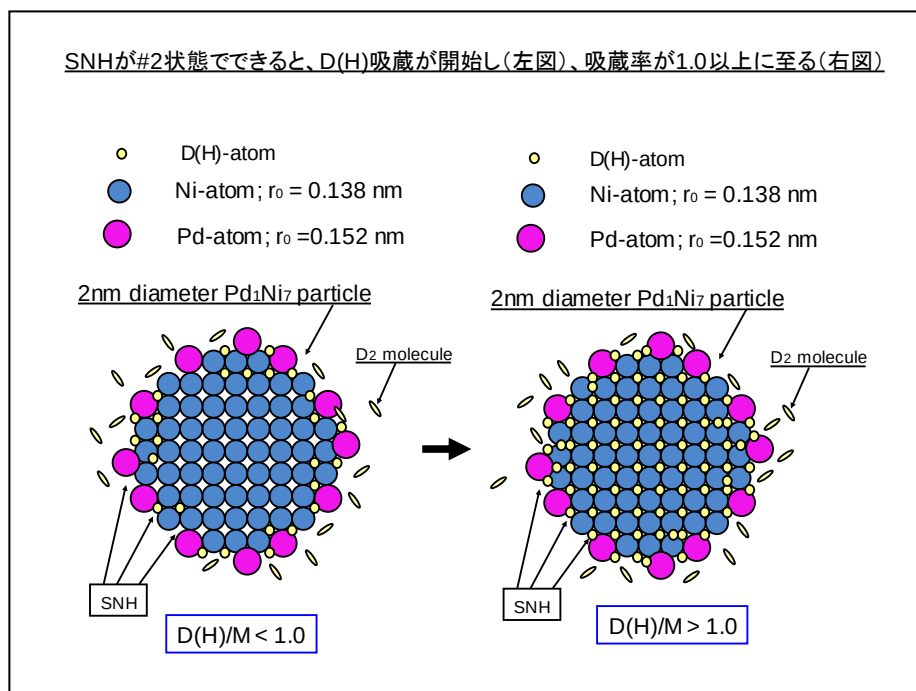


図 3. 1. 2-30: 二元ナノ粒子試料 (PNZ2B) の D(H) 取り込み・吸蔵のイメージ

一方でPd系では、PB、PZ、PSのL vs. Pのデータから、H₂OがLだけできた場合のガス圧と蒸気圧の関係から、Phase-IaがH₂O生成熱・見かけ吸蔵とするのは不可能である。つまりH₂Oはほ

とんどできていないとすべきである。 Phase-Ib は η 値が低いので、 H_2O 生成熱と合致しない。

(このことから、PZ, PS, PB, PP 試料では、0-reduction 補正は不要になる。)(PNZ2B は、#1, #3 と #2 の P データの違いを見ても、#1 と #3 については、明らかに 0-reduction の Phase-I での補正が必要に見える。) PZ, PS, PB, PP 試料では、0-reduction は、baking でほとんど起こるとする考えを追求する必要がある。(ならば、PNZ2B#2d の吸熱量が、#2 と比べて、非常に小さいことは説明できるが、全体のデータ間のつじつま合わせがさらに必要である。)

D(H) ガスチャージ初期に、実質圧力ゼロで吸蔵する Phase-I の吸蔵率成分 ($L - \Delta L = 2.5-2.6$) は、真空排気による desorption-run#2d では、サンプルから逃げ出さないと考えられる。#2 ランのチェンバーガス圧力上昇時の吸蔵成分 ($\Delta L=0.3-0.4$) は、desorption ランの圧力下降 (排気) 時にサンプル外に出て行くと考えられる。A, B ランでは、($L - \Delta L$) の D(H) がサンプル内に残っていると思われる。そのため、A, B ランの sorption/desorption ランでは、 ΔL 分の吸蔵・脱蔵と発熱=吸熱が繰り返される。($L - \Delta L$) 成分による発熱 (メゾ触媒効果で大きい) 分が、#1, #2, #3 ランでは、d, #3d ランの Δ #3d ランの ΔL 成分による吸熱量 (絶対値) より、非常に大きくなる (E-gain) の理由ではないかと考えられる。Baking により、($L - \Delta L$) の D(H) はサンプルからすべて取り出され、そのとき Pd0 も還元されるのであろう。確認には、今後の詳しい検討を要する。

図 3.1.2-31 に PNZ2B 試料による Phase-I 積算発熱量と脱蔵エネルギー (吸熱) の履歴を示した。この二元ナノ試料の特徴は、還元、酸化によらず異常に大きな発熱 (大部分約 70-80%は化学発熱と思われる) と異常に大きな吸蔵量 (3.0 を越す) を示すことである。

(最近、神戸一テクノバの Pd/Silica 試料の実験で、吸蔵量 3.5 が得られている。)

図 3.1.2-32 に PNZ2B 試料による #1-3 ランと再使用ランによる吸蔵率 D(H)/M の履歴を示した。吸蔵率が 3.0 内外と非常に大きくなっていることにまず注目したい。また、一度外空気中に取り出して数週間保管後に再使用した場合でも、2.0 付近の大きな吸蔵率となっていることがわかる。繰り返し持続的に使用できる試料パウダーの開発に向けてのヒントを与える試料である。

図 3.1.2-33 に PNZ2B 試料のよるランでの特性エネルギー (specific heat per D(H)) 値データの履歴を示した。Ni のみでは常温での発熱・吸蔵効果はないことと比べると、驚くべき発熱性能といえる。軽水素のランでも、エネルギー装置への応用が展望できそうである。

D と H のエネルギー差は、「核発熱」の可能性を秘めている。

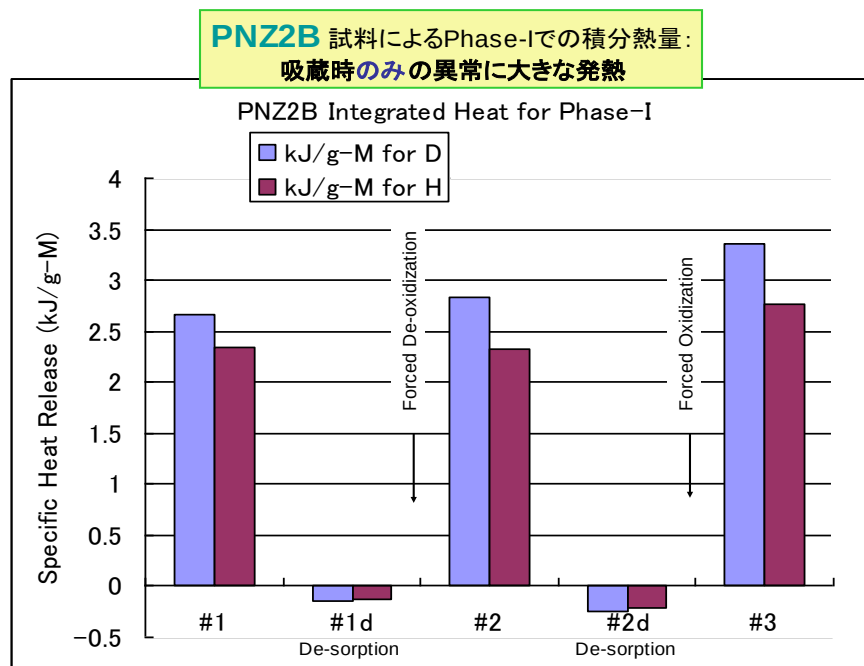


図 3.1.2-31: PNZ2B 試料での Phase-I の発熱量と脱蔵エネルギーの履歴

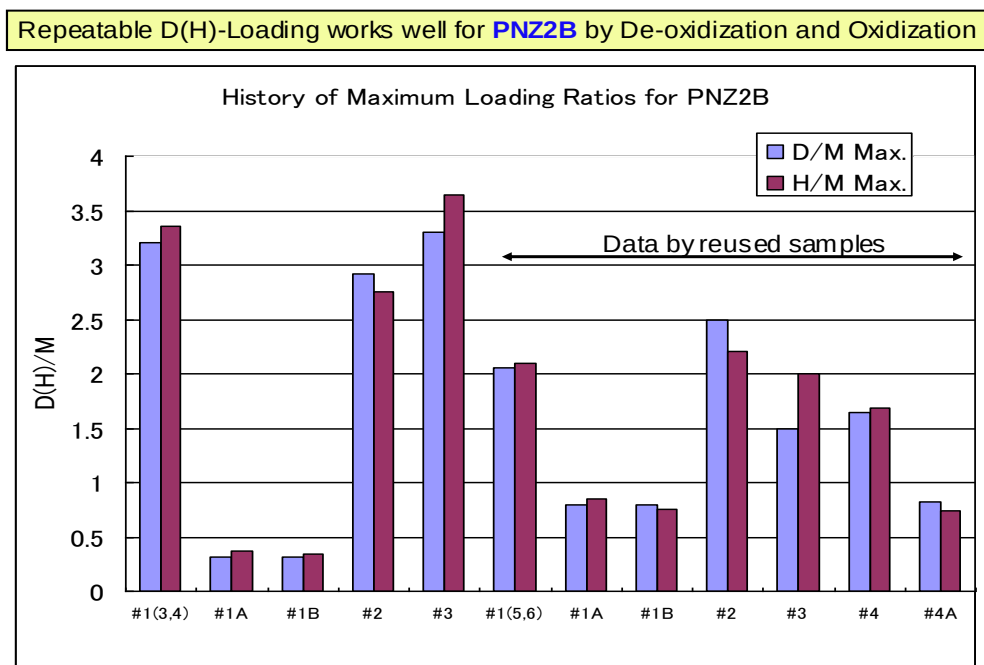


図 3.1.2-32: PNZ2B 二元ナノ粒子試料による吸蔵率 $D(H)/M$ の履歴データ

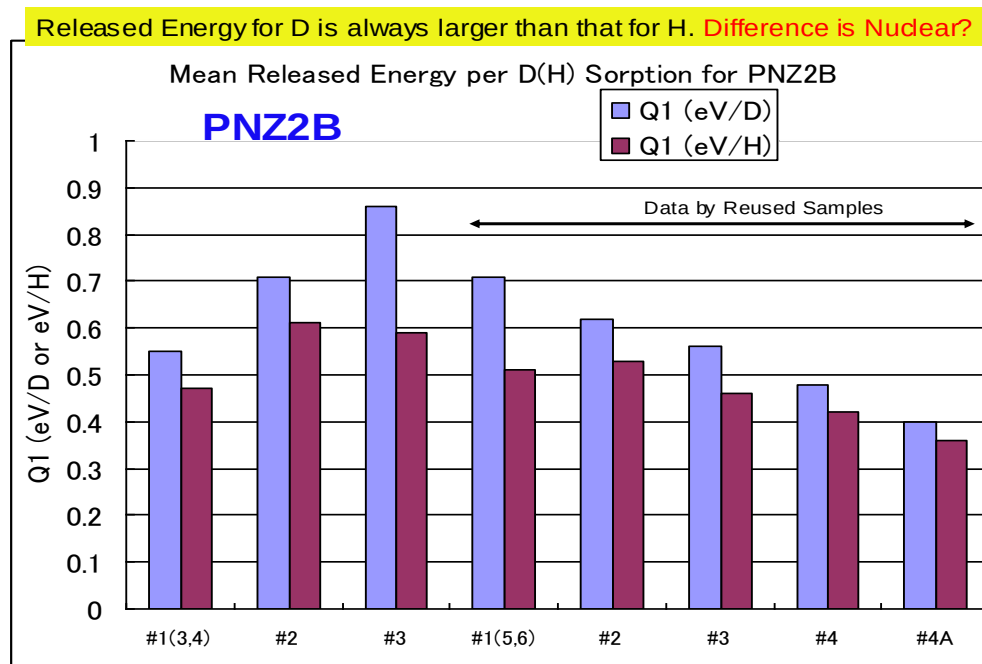


図 3.1.2-33: PNZ2B 二元ナノ粒子試料による D(H)あたりの発熱量 (eV 単位) の履歴データ。D と H の Q1 の差が“核発熱成分”である可能性がある。

結果のまとめ：Tested Metal/Ceramics Powders and Results						
	Pd	Ni	Zr	O	Supplier	Anomalies observed?
100nm ϕ -Pd PP	995%, 100nm ϕ	---	---	---	Nilaco Corp.	[1],[2] No, bulk metal data, but PdO
Pd-black PB	99.9%, 300mesh	---	---	---	Nilaco Corp.	[1],[2] Yes, a little large heat & D/Pd
8-10nm ϕ -Pd PZ	0.346	---	0.654	(1.64)	Santoku Corp.	[1],[2],[3], discussed Yes, Heat and D/Pd reproducible
mixed oxide NZ	---	0.358	0.642	(1.64)	Santoku Corp.	[2] No heat and loading
mixed oxide PNZ	<u>0.105</u>	0.253	0.642	(1.64)	Santoku Corp.	[2] Yes, but weak
2nm ϕ -PdNi PNZ2B	<u>0.04</u>	0.29	0.67	(1.67)	Dr. B. Ahern	Yes, very large heat and D(H)/M, reproducible

[1] Phys. Lett. A, 373 (2009) 3109-3112.

[2] **Low Energy Nuclear Reactions**, (AIP Conf. Proc. 1273, ed. Jan Marwan, 2010).

[3] **LENR Source Book 3**, (ed. Jan Marwan, ACS) to be published.

Drastic change happens! **Why?**

図 3.1.2-34: 色々な Pd パウダーおよび Pd-Ni パウダーの試験結果の概略

A T E M I m a g e of a Pd/ZrO_2 sample made by melt-spinning procedure
(By courtesy of Prof. T. Oku, University of Shiga Prefecture)
As a reference to the B. Ahern's Pd sample

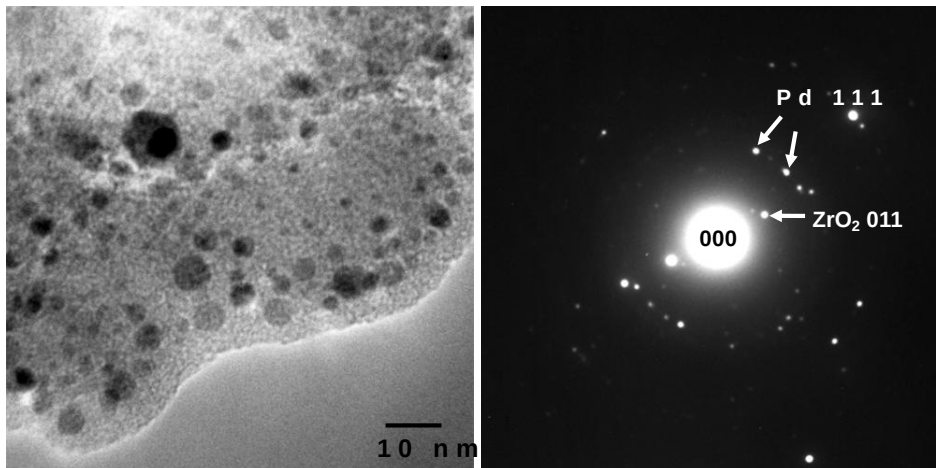


図 3.1.2-35: Pd/ZrO_2 試料の TEM 写真像。数 nm 径の Pd 粒子が ZrO_2 flake 担体に分散配置している。

理論的な考察(水素吸蔵); Pd , PS 試料の場合

- ・今回の水素吸蔵は、低圧力・短時間で反応、通常の吸蔵現象とは異なる。
- ・よって、新たな考察を実施 (通常: 1000 気圧・1~2 日で 0.7 程度)

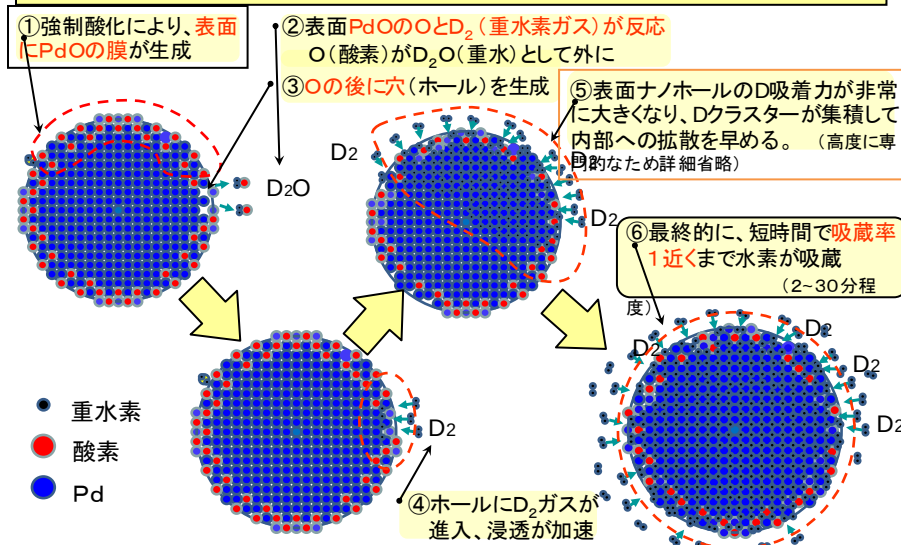


図 3.1.2-36: PdO 表面層の効果についての SNH サイト活性化モデル

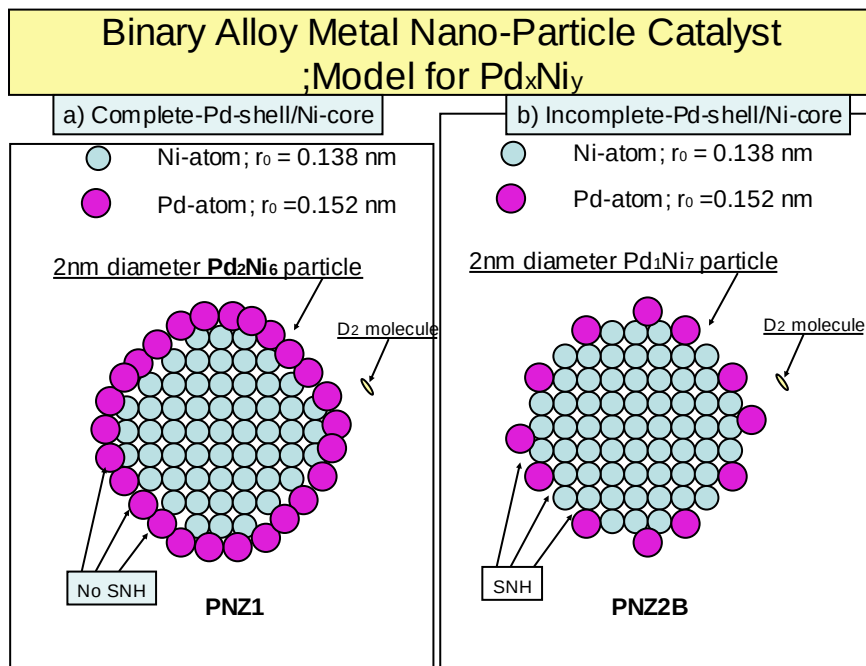


図 3.1.2-37: 二元金属ナノ粒子のモデル。

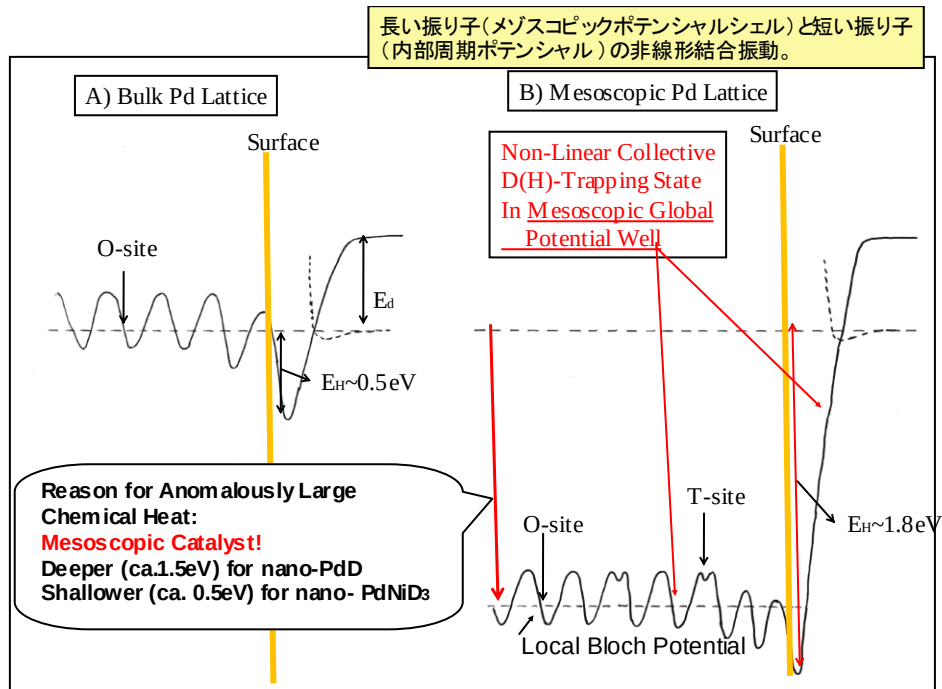


図 3.1.2-38: 金属ナノ粒子が $D(H)$ 取り込みのメゾ触媒として働くとしたポテンシャルモデル。

神戸大ーテクノバが試験したいろいろな試料を用いての結果を、簡単にして、**図 3.1.2-34** にまとめた。PdO 層の効果や二元試料の働きについて、モデルを用いて、以下に考察してみよう[3.1-5, 11]。

図 3.1.2-35 に PZ 試料の TEM 写真を示す。Pd 粒子は、2-50nm 径に分布していること、10nm 径より大きな Pd 粒子は、数のうえでは少ないが、存在する。小型粒子(1-10nm)は、ZrO₂ のくぼみや、ナノ細孔にトラップされている。しかし、大きな粒子は表面にあり、D(H) ガスチャージ時に動いて、他の大きな Pd 粒子と合体 (aggregation, sintering) 巨大化すると思われる。この巨大化が、#2 以降の実験で出力が落ちる原因であろう。そうであれば、粒子径を 2-10nm に揃える試料作りの手法が重要である。

図 3.1.2-36 に表面の PdO 層が D(H)チャージ時に果たす効果のモデル[3.1-5, 11]を示す。SNH が形成されると、化学的 electron-dangling-bond ができて、D(H)ガスの吸着と乖離が起き易くなる。さらに SNH 付近に広がったフラクタルサイトに多くの D(H)が取り付いて、内部へ向けての拡散圧力が高まって、急速に Pd 格子 O サイトへの吸蔵が進み、短時間に満杯 (PdD) 状態となる。さらに、T サイトへの D(H)への取り込みが進んで、吸蔵率が 3.0 に至る (Pd/Silica の場合 : PS-II 試料、JCF12 で発表) こともある。

PNZ2B の二元ナノ金属粒子の働きが非常に顕著であった理由は、**図 3.1.2-37** に示すように、PdO の酸素の役割を Pd₁Ni₇ の Pd が ad-atom として務めていて、表面に SNH サイトを多く形成すると考えられる (右図)。PNZ-I 試料のように Pd 量が多すぎると (左図)、Ni コアの表面を完全にカバーした Pd 層で PdD(H)の形成により、D(H)の内部 Ni への拡散吸蔵がブロックされるのであろう。Pd-ad-atom は、酸素のように還元離脱することは無いので、繰り返し使用が可能であると考察できる。

これらのナノ粒子の働きは、表面のフラクタルサイトでの「メゾ触媒効果」として、モデル化できる。**図 3.1.2-38** に、バルク金属格子の表面吸着(adsorption)から内部の周期ポテンシャル(Bloch potential)への吸蔵 (左図) とメゾ触媒ポテンシャル (右図) を比較している。

異常に大きな吸蔵“化学熱”は、ナノ粒子内に形成される一体ポテンシャル (GMPW: global mesoscopic potential well) 井戸の深さに関係している。実験から、この GMPW の深さは、Pd ナノ粒子で、0.8-1.2eV, Pd₁Ni₇ で 0.5-0.6eV と推測される。GMPW 内には周期ポテンシャルの内部構造がある。GMPW の D(H)量子振動 (長い振り子振動) は、周期ポテンシャルの調和振動 (短い振り子振動) と結合していて、「非線形結合振動を起こす結果」D(H)粒子の GMPW 内部での相対運動エネルギーが増大して、GMPW 内を“準自由”に運動する。その結果、周期ポテンシャルの T サイト付近での TSC 形成確率が大幅に増大する。(図 3.1.2-36)。これが、Phase-I の後半から、Phase-II にかけて、4D/TSC 核融合のような常温核融合反応率を増大させる underlying mechanism とモデル化できる。

このモデルが正しければ、試料温度の上昇によって、核反応率が増大すると予測される。

現在までの神戸大実験は、すべて室温でなされたが、今後温度上昇をパラメータとした追及が期待される。

神戸大一テクノバの Nano-Pb/Porous-Silica 試料 (Admatechs Co. Ltd) を用いた最新の結果 (JCF12 発表) の概略を示しておこう。(図 3.1.2-39-40 参照)。

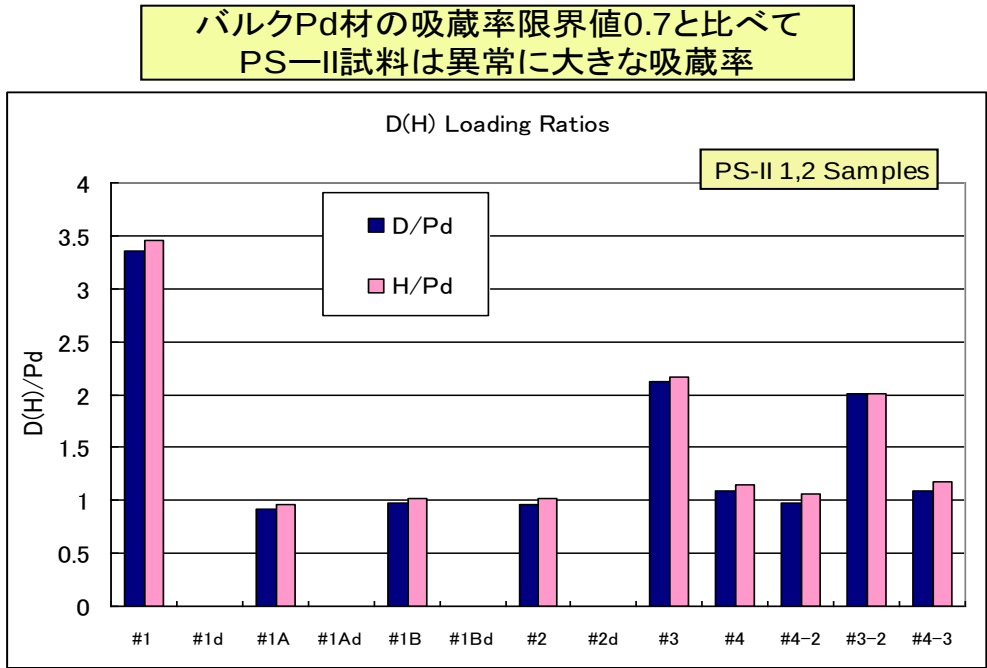


図 3.1.2-39: Pd/Silica 試料(PS-II)による D(H)吸蔵率の履歴。A,B ランでも 1.0 と大きい。

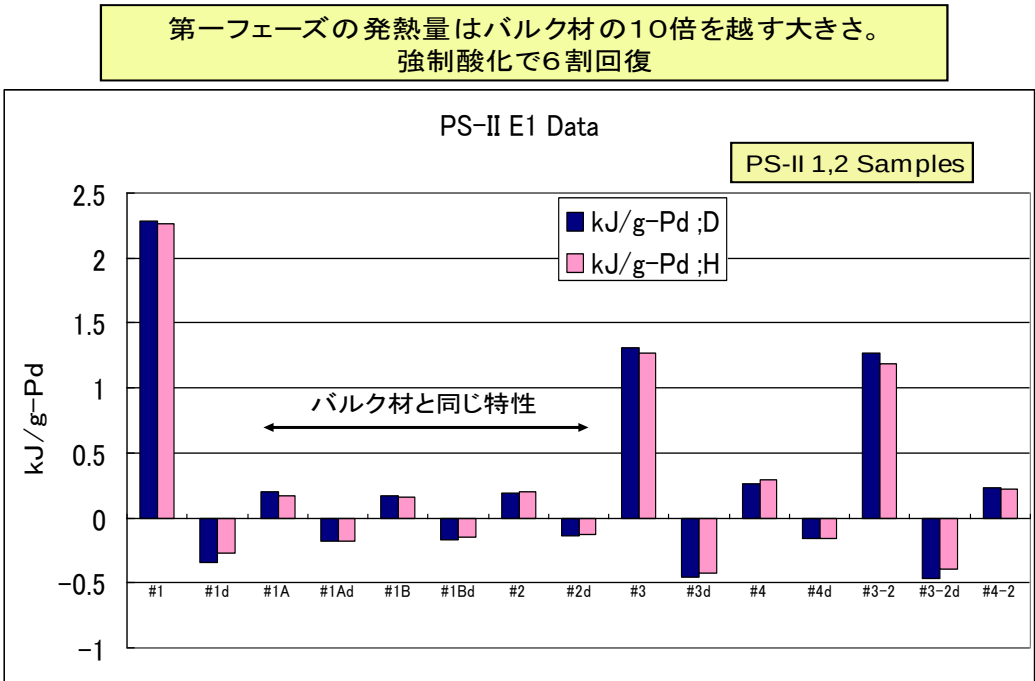
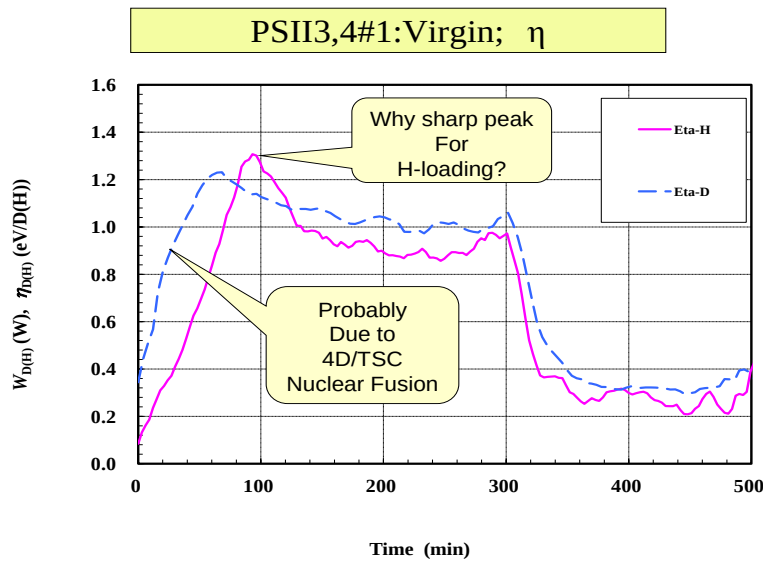
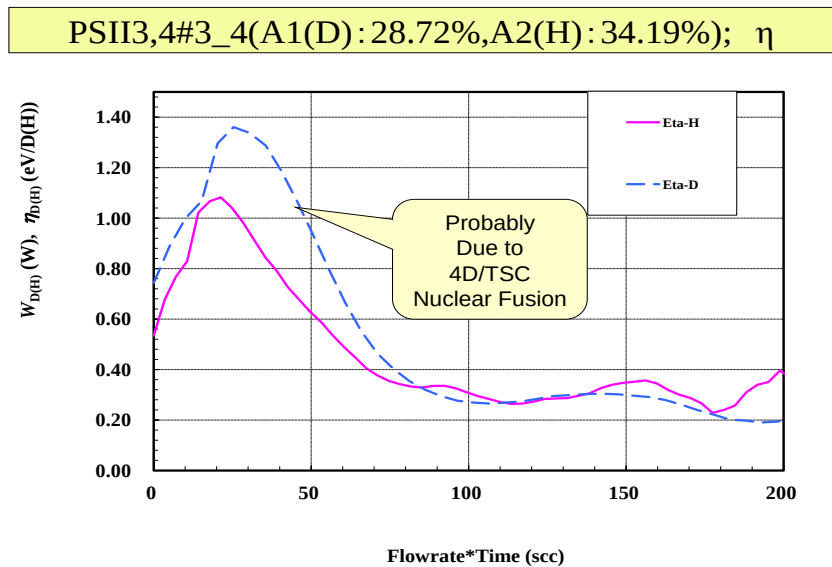


図 3.1.2-40: Pd/Silica 試料(PS-II)による発熱率の履歴。酸化で 60%回復し、繰り返せる。



高橋:常温核融合原理 21

図 3.1.2-41: PS-II 試料での η 値の同位体効果、#1 ランの例：初期にD系で大きな値。
この同位体効果は、電子交換結合エネルギーの化学反応での説明は難しい。



高橋:常温核融合原理 22

図 3.1.2-42: PS-II 試料での η 値の同位体効果、#3 ランの例：初期にD系で大きな値。
この同位体効果は、電子交換結合エネルギーの化学反応での説明は難しい。

PS-II 実験は、本質的に PZ ランの結果を再現している。PS-II のほうが、吸蔵率(3.0 以上)、発熱率ともに、PZ よりも良い性能を示している。サポーター材料に関係なく、ナノ金属粒子への吸蔵・発熱・同位体効果は、共通の物理過程であることを示している。

酸化割合と Phase-Ia の L (“L-1.0”で計算)

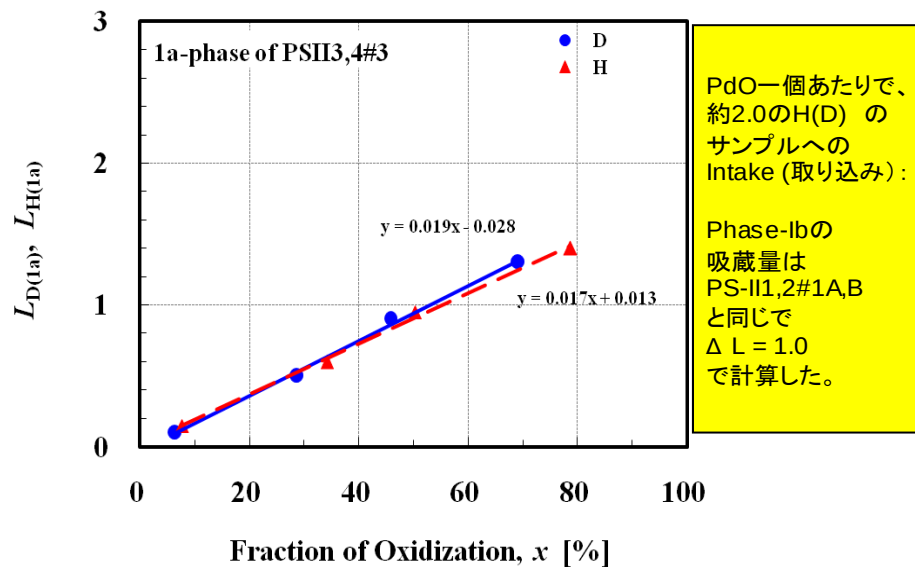


図 3.1-45: 酸化量(PdO/Pd)と Phase-Ia での吸蔵量の関係。D と H で吸蔵特性は同じで、PdO サイト数に比例して増加する。

酸化割合と Phase-IaのE1 (“L-1.0”で計算)

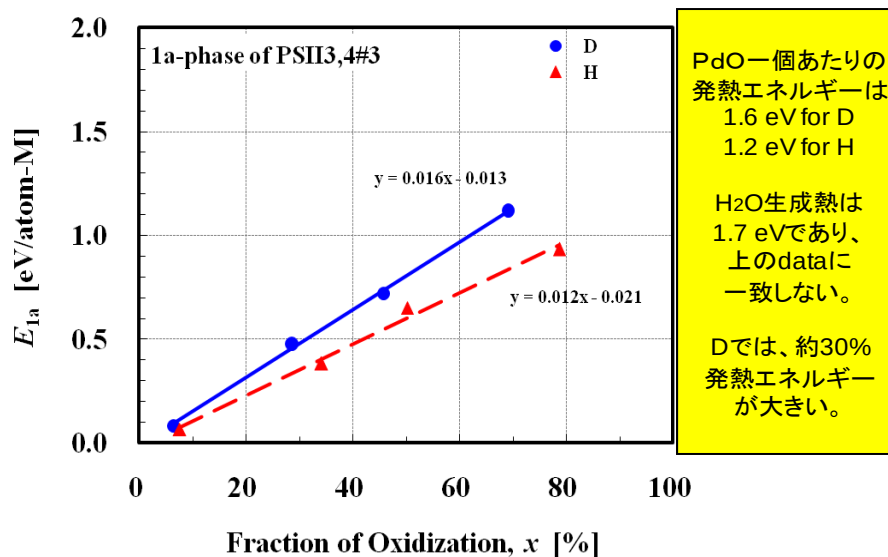


図 3.1-46: 酸化量 (PdO/Pd) と Phase-Ia での発熱エネルギーの同位体効果。D で 30% も大きくなる結果は、化学反応での説明は困難。イータ値の時間依存性(図 3.1-44)をみると、さらに大きな値が D 系で観測される。4D/TSC 核融合のような核反応起源の熱発生の傍証として捉えている。

3.1.3 NRL と Colorado の実験：

国外の実験例を少し紹介しよう（図 3.1.3-1-6）。

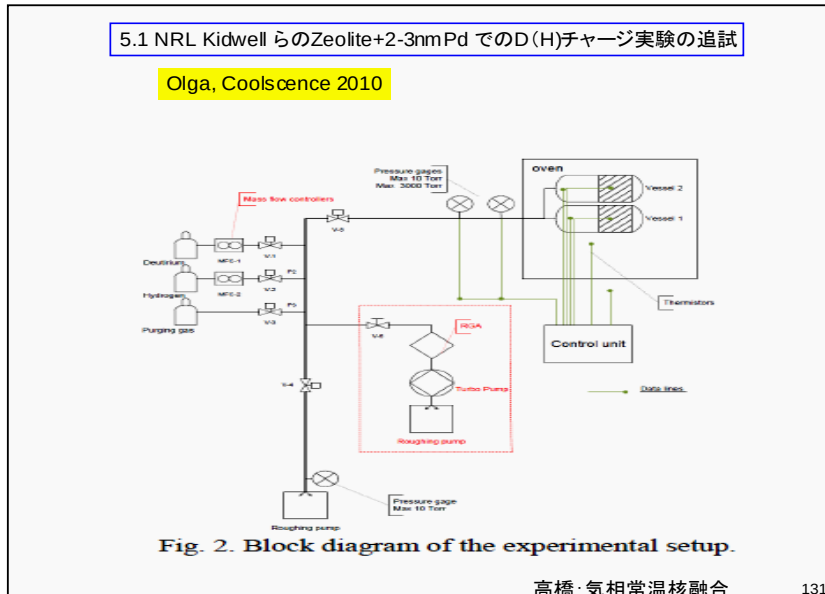


図 3.1.3-1: アメリカ海軍研究所 (NRL) の Kidwell ら、およびコロラドグループの気相実験装置（両者は、同じデザインの実験装置を用いている）。



図 3.1.3-2: コロラドグループの気相実験装置の写真

NRL Repl. By Olga, Coolestence
(Colorado Univ.) 2010

Dガスチャージでは、入力(IN)の
約10倍の過剰熱を繰り返し発生して
高密度エネルギー源への期待

Excess heat in units °C × second/g

		Blank zeolite		Excess heat	Pd-zeolite		Excess heat
		out	in		out	in	
D ₂	2nd	-15.57	14.98	-0.58	-244.65	13.25	-231.4
	3rd	-16.92	12.75	-4.17	-442.83	20.00	-422.83
	4th	-24.58	15.33	-9.25	-383.33	53.17	-330.17
	5th	-25.42	14.53	-10.88	-406.45	84.50	-321.95
H ₂	1st	-22.62	13.42	-9.20	-59.30	35.48	-23.81
	2nd	-18.62	12.45	-6.17	-87.35	28.81	-58.53
	3rd	-12.02	14.32	2.30	-23.95	35.33	11.38
	4th	-15.50	12.95	-2.55	-24.63	25.95	1.32

Table 1. Heat-out and heat-in for deuterium and hydrogen runs per gram of palladium.

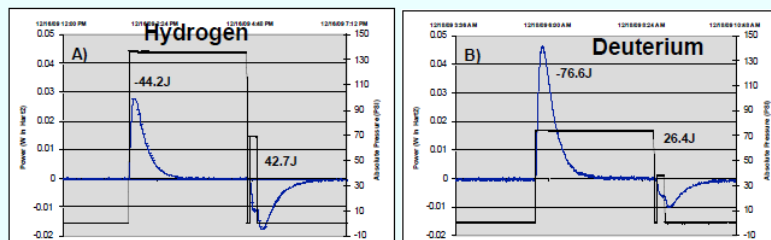
高橋: 気相常温核融合

135

図 3.1.3-3: コロラドグループの Pd/zeolite 試料による吸蔵 (out)・脱蔵(in)実験での過剰熱測定結果。サンプル系に取り込むエネルギーは脱蔵時でプラス、吸蔵時でマイナスと解釈している。大きな過剰熱とゲイン (out/in) が観測された。

NRL Grabowski のスライドより、ARL Workshop, June 29, 2010

Typical Pressurization Cycle Pressurization with Deuterium – In ≠ Out



- Heat due to:
 - Work of pressurization (PV heat - reversible)
 - Absorption of Deuterium into Palladium particles and spillover onto the support (reversible)
 - Other – which may be chemistry

Results:

- Highly reproducible, over long periods of time.
- Some of irreversible heat caused by H→D exchange, but apparently not all. Is there other chemistry too?

Unclassified

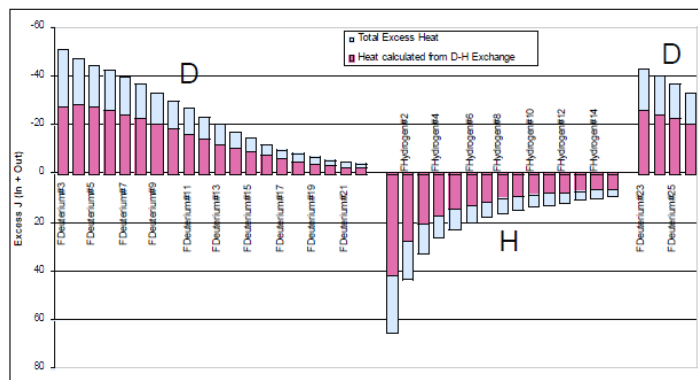
高橋: 気相常温核融合

136

図 3.1.3-4: NRL の気相系実験 (コロラドGと同様の装置) の生データ例

Excess Heat from Many Cycles

Palladium on Zeolite 13X



- Note how the contribution from D-H exchange is a constant fraction of the total heat no matter if heat is exothermic or endothermic
 → thermochemistry needs "adjusting"

Unclassified

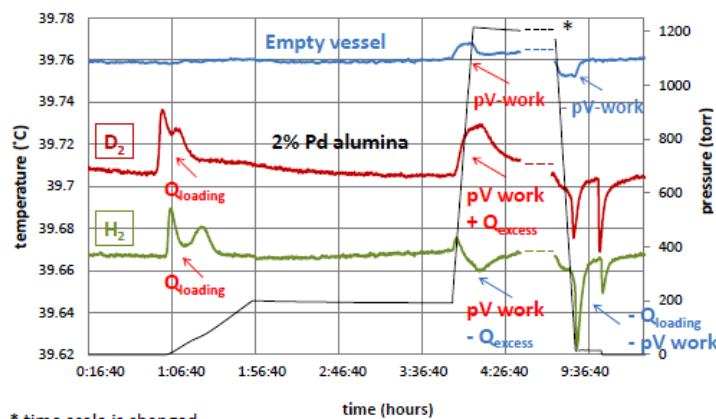
高橋: 気相常温核融合

137

図 3.1.3-5: NRL の Pd/zeolite ガスロード実験における“過剰熱”の履歴

Olga Dmitriyeva 発表の ACS-NET2011 での最新データ

Excess heat generation



* time scale is changed

高橋: 気相常温核融合

140

図 3.1.3-6: コロラド G の Pd/Alumina 試料での生データ例

アメリカ海軍研究所(NRL)の D. Kidwell らのグループと、コロラドのグループは、Pd ナノ粉末をゼオライトやアルミナの担体に分散保持する試料を用いて、D(H)ガスロード時の発熱特性を研究している。図 3.1.3-1,2 に示すような装置を両者は用いている。D(H)吸蔵率の測定は行っていない。発熱特性の D(H)同位体効果の測定結果は、図 3.1.3-4-6 に示したように、神戸大ーテクノバGの結果と定性的には良く似ている。同じ物理現象が再現性良く、繰り返し測定されていると思われる。かれらは、吸蔵率を含めての動特性の測定を行っていないので、発熱温度のパターンのみから何が起きているかを推測している。

今までのところ、彼らの見方は、「過剰熱は異常な化学熱であると思われるが、既知の化学反応では説明できない」とするものである。荷電粒子など、核反応生成物の検出に取り組み始めている。

神戸大ーテクノバGも、B 体系装置で核反応生成物の測定に取り組んでいて[3.1-3]、手がかりデータをもとめて、実験を繰り返している。(ガス圧変化時の荷電粒子スペクトル測定と粒子同定は、難しい実験である。) 荒田が明確な結果を示したD系での、 ^4He の発生データは、追試確認すべき重要な事項である。しかしながら、各グループともに、QMAS 装置などを準備する研究経費の工面ができておらず、pending となっているのは残念である。一方で、簡易真空チェンバーによるガスチャージでの荷電粒子、X線、EUV・可視光の測定からも、核反応の直接・間接の証拠が得られるものと期待されるので、その線での努力が続いている。明確なデータが今後得られることを期待したい。

データは紹介できないが、Boston のベンチャーで研究する B. Ahern は、EPRI の依頼により、PZ, PNZ2B, NZ 型資料や Cu-Ni 二元ナノ粒子、などを用いての発熱・吸蔵特性の測定を行っている。基本的に、他のグループと同じ結果を得ている。(EPRI は結果を公表しない。) 特に、神戸大ーテクノバGが用いた PNZ2B 試料は、B. Ahern から提供されたものである。Ahern は、ナノ粒子の専門家で、「1-10nm 金属粒子における吸蔵 D(H)原子の異常非線形振動」が重要であると早くから指摘した。

そのほかに、イタリア Frascati の核物理研究所(INFN)の F. Celani らは、以前より、Ni の細線 (μ サイズ) の表面に Th, Cu などのナノ構造物を塗布する手法で、高温 (300-500 度) 下の D(H)ガスチャージによる吸蔵・発熱現象を追及している。[3.1-14]

500W/cc という高密度の発熱現象があるとクレームしている。しかし、エネルギーゲインが 10%ほどと小さいので、今後の進展に期待したい。また、Texas 大の関連研究所の D, Cravens[3.1-12]も気相系での研究を行っている。その他、フランス、ロシア、中国でも研究が進行中であるが、結果は公表されていない。

最近、東京高専の土屋ら[3.1-15]は、気相法による PdDx の熱測定研究を開始した。気相系実験法は、再現性に優れていて物理がわかりやすい。今後の急速な進展が期待でき

る。また、工学的なエネルギー貯蔵・発生装置開発への展望が見えつつある（後で記述）。

[参考文献]

- [3.1-1] Y. Arata, Y. Zhang: J. High Temp. Soc., 1 (2008)
- [3.1-2] A. Kitamura, T. Nohmi, Y. Sasaki, A. Taniike, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita: Anomalous effects in charging of Pd powders with high density hydrogen isotopes, Physics Letters A, 373, pp.3109-3112 (2009)
- [3.1-3] A. Kitamura, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita: Heat evolution from Pd nano-powders exposed to high-pressure hydrogen isotopes and associated radiation measurements, JCNMS, Vol.4, pp.56-68 (2011)
- [3.1-4] T. Hioki, H. Azuma, T. Nishi, A. Itoh, S. Hibi, J. Gao, T. Motohiro, J. Kasagi: Absorption capacity and heat evolution with loading of hydrogen isotope gases for Pd nano-powder and Pd/ceramics nanocomposite, JCMNS, Vol.3, pp.69-80 (2011)
- [3.1-5] A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita, A. Kitamura, Y. Sasaki, Y. Miyoshi, A. Taniike: Role of PdO surface coating in CMNE D(H)-gas loading experiments, JCNMS, Vol.5, pp.17-33 (2011)
- [3.1-6] A. Kitamura, Y. Miyoshi, H. Sakoh, A. Taniike, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita: Time-resolved measurements of loading ratios and heat evolution in D₂ (and H₂)-Pd-Zr mixed oxide systems, JCMNS, Vol.5, pp.42-51 (2011)
- [3.1-7] A. Kitamura, et al.: Hydrogen isotope gas absorption/adsorption characteristics of Pd nanopowders, presentation ppt slide at ACS-2011-NET, <http://www.lenr-canr.org/acrobat/KitamuraAhydrogenis.pdf>
- [3.1-8] A. Takahashi, et al: Phenomenology of nano-particle/gas-loading experiments, presentation ppt slide at ACS-2011-NET, <http://www.lenr-canr.org/acrobat/TakahashiAphenomenol.pdf>
- [3.1-9] Y. Miyoshi, H. Sakoh, A. Taniike, A. Kitamura, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita: Hydrogen isotope absorption/adsorption characteristics of Pd-Zr oxide compounds, Proc. JCF11, pp.10-15, (2011)
- [3.1-10] H. Sakoh, Y. Miyoshi, A. Taniike, A. Kitamura, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita: Hydrogen isotope absorption/adsorption characteristics of Ni-Pd binary nano-particles, Proc. JCF-11, pp.16-22, (2011)
- [3.1-11] A. Takahashi, A. Kitamura, Y. Miyoshi, H. Sakoh, A. Taniike, R. Seto, Y. Fujita: Mesoscopic catalyst and D-cluster fusion, Proc. JCF-11, pp.47-52 (2011)
- [3.1-12] D. Cravens: Inhibition of LENR by hydrogen within gas-loaded systems, JCMNS, Vol.4, pp.282-290 (2011)
- [3.1-13] 深井有、田中一英、内田裕久：水素と金属、内田老鶴圃出版、2002年

[3.1-14] F. Celani, et al: ACS-NET 2010 で発表

[3.1-15] K. Tuchiya, H. Akikawa, M. Ozaki: Heat generation from the palladium deuteride, Proc. JCF-11, pp.1-4 (2011)

3.2 電解法のその後 (Energetics, SRI, ENEA の熱, SPAWAR の中性子検出)

Energetics Technologies 社 (イスラエルとアメリカに会社) の Dardik らは、Super-Wave 電解法を提案して再現性の向上が著しい過剰熱発生を報告している^{9,10}。Super-Wave 電解と Pd 表面を超音波処理する実験法の原理図を図 3.2-1 に示す。彼らが今までに得た最高の異常過剰熱発生データを、図 3.2-2 に示す。入力 25 倍の出力が 17 時間続いた。

パラジウム陰極の表面は、実験前処理として、アルゴンか水素プラズマによるエッチング処理を行っている。この前処理が大切と彼らは述べている。また、電解中に Pd 陰極表面に超音波 (20 kHz 程度の周波数) を照射することにより、Pd 表面に複雑な (フラクタルな) ナノ構造ができる (図 3.2-3)。この条件で、Super-Wave 電解すると、D/Pd 比 (D 吸蔵率) が 1.0 近くに増大する。D/Pd 比は、Pd の電気抵抗比 (R/R_0) を測定することによりモニターしている。Super-Wave の発生は、周期が 20 分程度の正弦波を基本波として、その高調波をパソコンで重畳して電源で増幅して発生させている。Super-Wave 電解での過剰熱発生メカニズムは解明されていない。今後の課題である。

今までの実験で、このグループは、入力の数倍以上の出力を示す異常過剰熱が数時間継続するデータを多数回得ている。このような良好な結果の再現性は、30%程度である。図 2 に示した過去最高のデータでは、0.74 W の入力で平均出力が 20 W 出ている、17 時間続いた。ゲインは 25 倍である。この熱出力レベルは、24.8 keV/Pd-atom に相当していて、化学的原因で可能な熱出力レベルを 1000 倍以上上回っている。したがって、このようなエネルギーの発生は、“重水素を含む凝集物理系での何らかの核反応過程”で説明できなければならない。

Energetics Technologies のグループは、超音波とレーザーを同時照射する実験も試みている。これは核反応誘起の物性メカニズムへのヒントを与える興味ある実験である。また、共同研究の ENEA グループは、過剰熱と関連した ^4He の大量発生データを得ている。

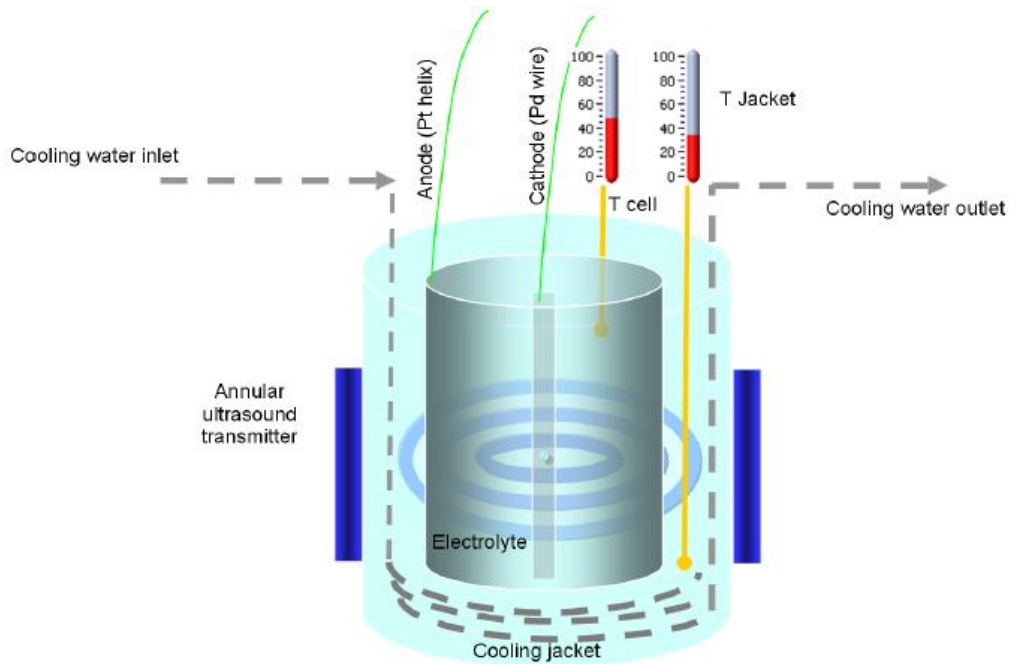
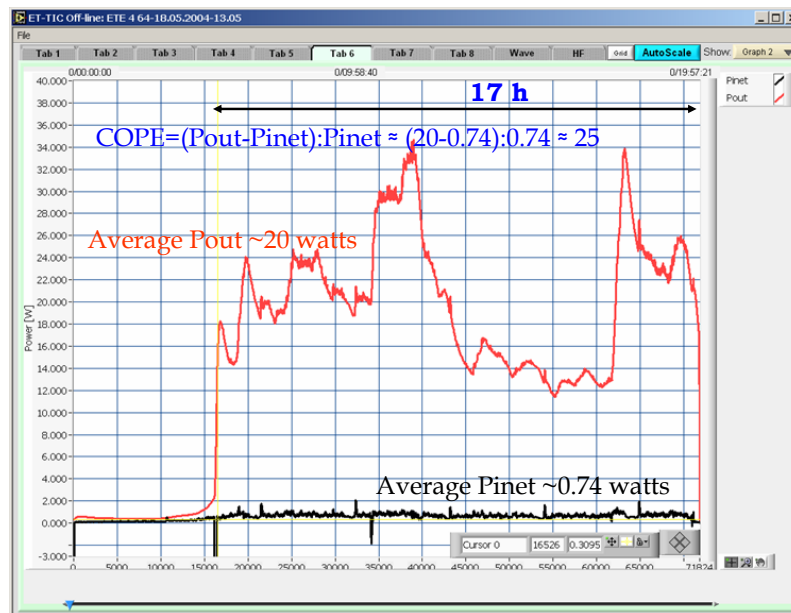


図 3.2-1: *Super-Wave* 電解と超音波照射を用いる実験の基本構成図(*Energetics Technology*⁸⁾)

Excess Power; Exp. # 64a ; El-Boher, ICCF11



Excess Power of up to 34 watts; Average ~20 watts for 17 h

図 3.2-2: *Energetic Technologies*⁹, が今までに得た最高ゲインの異常過剰熱の発生データ

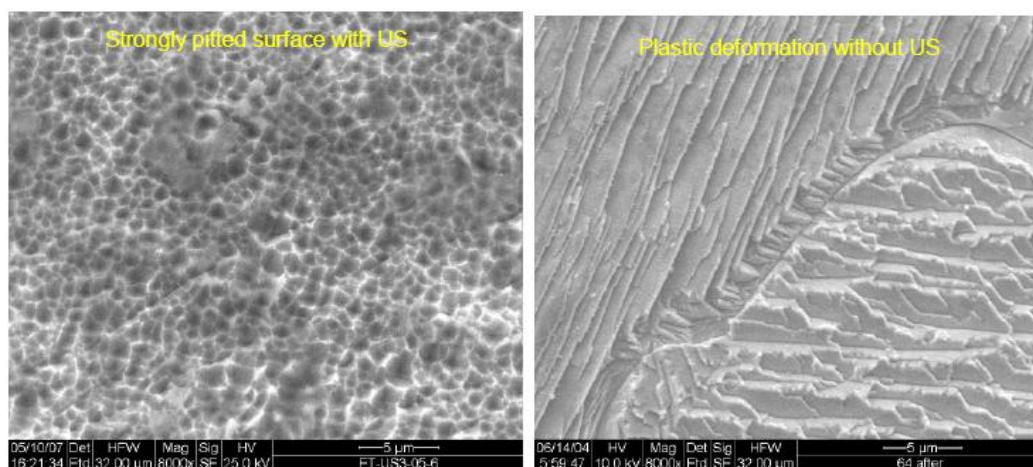


図 3.2-3: Pd 陰極表面の SEM 写真; 左図は超音波照射後の Pd 表面、右図は超音波照射なしの場合
(SEM magnification = 8000X, by Energetics Technologies⁸)

荒田らも、 ^4He の大量発生を明確に示すデータを発表している。彼らは以前の実験においては重水電解に二重構造の Pd 陰極（内部に Pd 微粉末を装荷）を用いて実験した。その後、ナノ Pd 粒子をジルコニア (ZrO_2) に分散させた複合材料を用いて、気相吸蔵法で実験するシステムに変更した。四重極質量分析装置 (QMAS) を用いて、反応セル内ガスと Pd 粒子内部にある ^4He 量を分析・検出した。

一方、SRI の McKubre らは、荒田や Case の実験を再現する試みや自身の電解セル（密閉型）での過剰熱と ^4He 発生量との相関を研究する。彼らが重水電解で得た ^4He 発生データと過剰熱の関係を示すデータを図 3.2-4 に載せた。また、図 3.2-5 は、炭素膜の上に Pd を PVC 蒸着した試料を用いる Case 型の実験で得られた結果である。この図では、He 一原子あたりの発生エネルギーは、31 MeV となっている（誤差は 13 MeV）。最近の McKubre の報告によると、 $24 \text{ MeV} \pm 2 \text{ MeV}$ の相関データが得られたと報告している。これは、過剰熱を発生した核反応の主生成物（灰）が ^4He であり、“クリーンな核融合”過程の存在を示す重要なデータである。

荒田と張は、最近の気相系吸蔵実験で、QMAS 分析により 10^{17} 個の ^4He を検出したと報告している。何らかの核融合で、 ^4He 一個あたり 24 MeV のエネルギーが発生したとすると、 10^{17} 個の ^4He 数は、約 1 MJ の発熱量に対応する。それゆえに、この実験は非常に真剣に受け止めねばならない。

重水素の核融合と言えば、DD ($d + d$) の 2 体核融合をまず考えるのが核物理の常識である。しかし、DD 反応では、2.45 MeV の中性子と 1 MeV のトリトン（三重水素）が等量（分岐比 50%）発生しなければならない。 ^4He が発生する分岐比は、0.00001% である。 ^4He は DD 核融合の灰となれないのである。多くの CMNS/CF 研究者が、「 $\text{D} + \text{D} \rightarrow ^4\text{He} + \text{Lattice-energy} (23.8 \text{ MeV})$ の仮説」にこだわっている。しかし、これは核

物理的にありえない。高橋は、**TSC**（正四面体凝縮）による**凝集核融合理論**を提唱して、**4D 核融合**の生成物として ^4He と関連した過剰熱発生を説明している（2.2.1 節参照）。

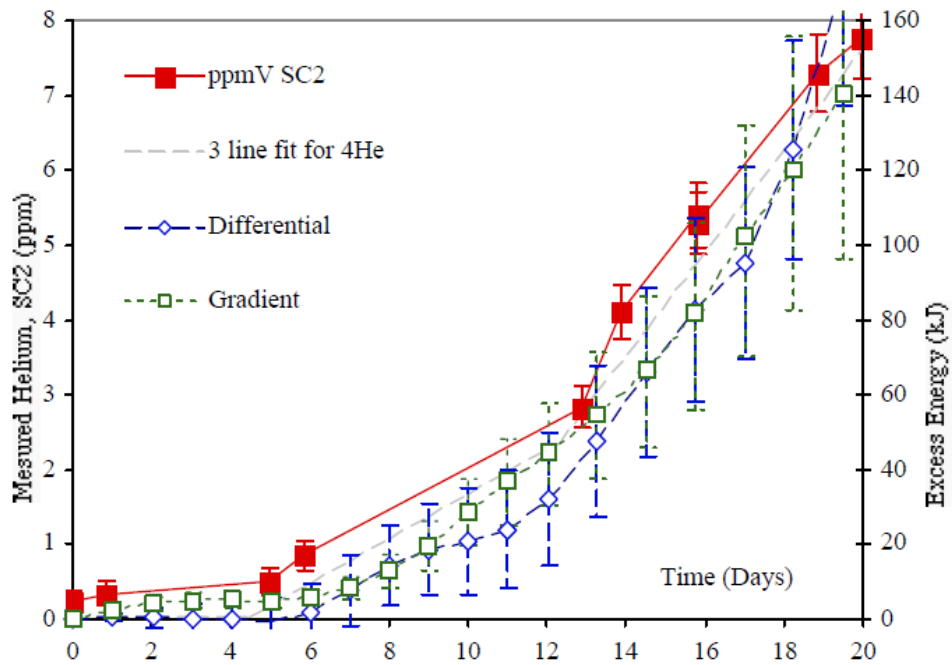


図 3.2-4: SRI group が測定した Pd 陰極重水電解での過剰熱と ^4He 発生 の 相 関 デー タ

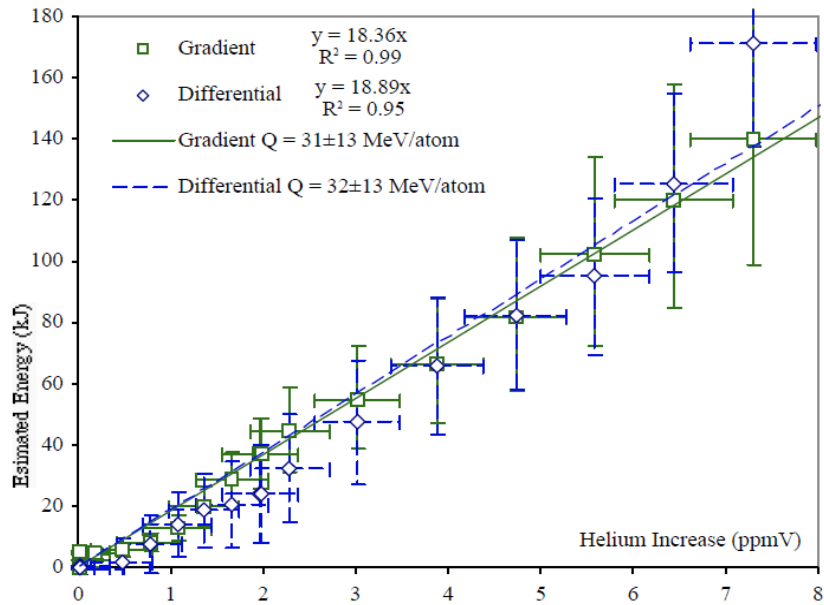


図 3.2-5: Case 型実験での過剰熱と ^4He 発生 の 相 関 ⁹

前回の報告（*常温核融合 2008, 工学社*）で注目した、Super-Wave Electrolysis 法による Pd/D₂O 電解実験（再現率 70%に至った）のその後はどうなったであろうか？ Energetics (Israel)-SRI-ENEA 連合チームの中心であり、Super-Wave/Super-sonic 法の発明者 Energetics 社の研究施設をアメリカのミズーリ大学に移転して、「新しい CMNS/CF 研究センター」を開設して、さらに研究を進めることとなった。2011 年春には、装置の移転・据付・調整が終わり、実験をスタートしたと聞いている。この再編行動のためであろうか、協力者の SRI（アメリカ）と ENEA（イタリア）からの特に新しい過剰発熱データの発表はない。しかし、Nagel[3.2-1], Storms-Scanlan[3.2-2], McKubre[3.2-3]が JCMNS Vol.4 へのレビュー論文で、今までのまとめと、電解法の評価を行っている。

電解法での過剰熱発生頻度と吸蔵率 D/Pd の関係を、McKubre が図 3.2-6 のようにまとめている。

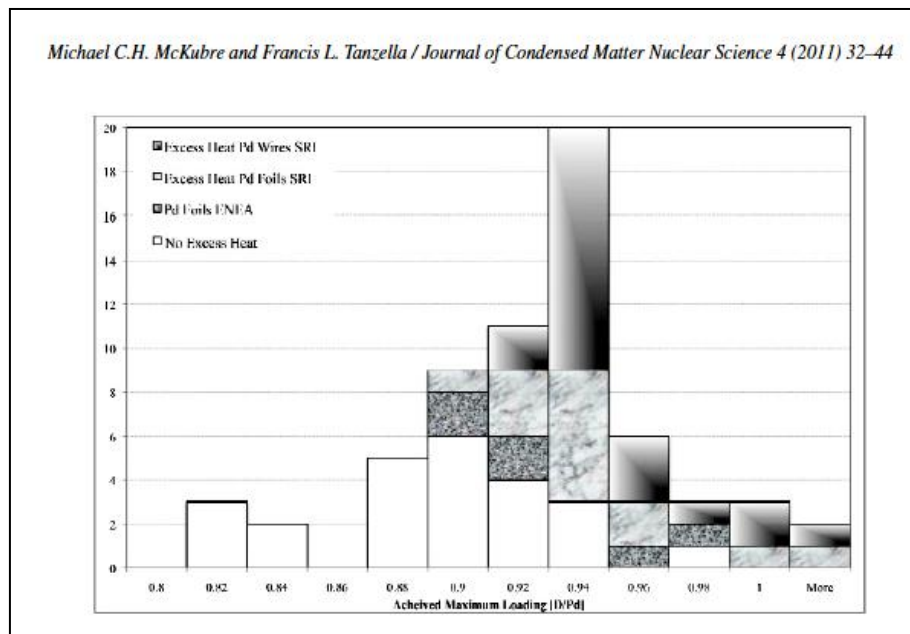


図 3.2-6: 電解法による過剰熱発生頻度と吸蔵率（試料全体平均） D/Pd の関係

バルク平均の吸蔵率が 0.94 以上になったときに、過剰熱が発生する頻度が高くなっている。反応が Pd 表面で起こるとすると、表面での吸蔵率のデータがほしいがない。

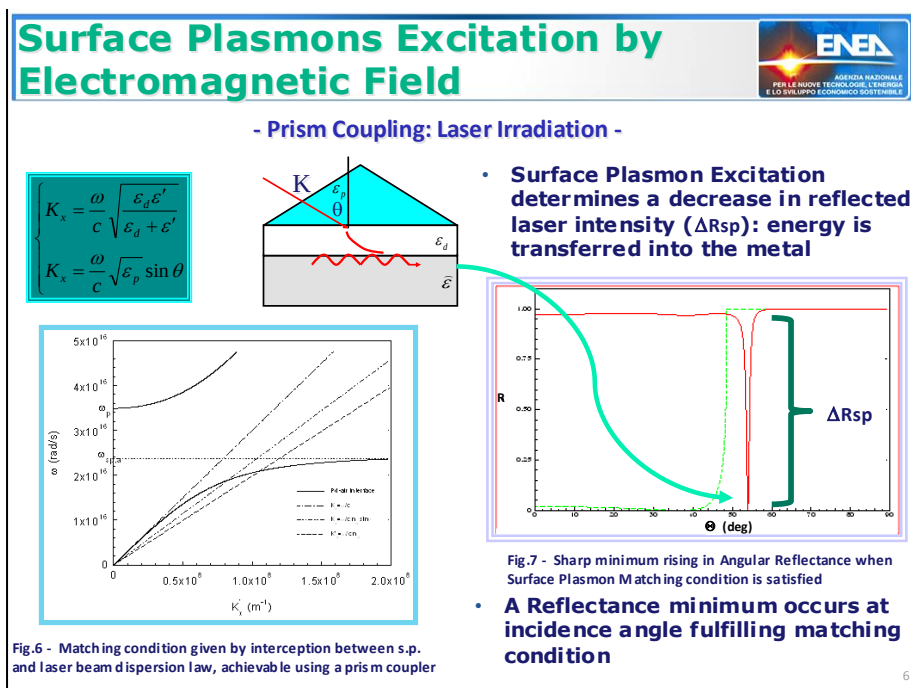


図 3.2-7: ENEA の Castagna らは、電極表面の Plasmon の励起を電磁場（レーザー）で行う研究をしている。

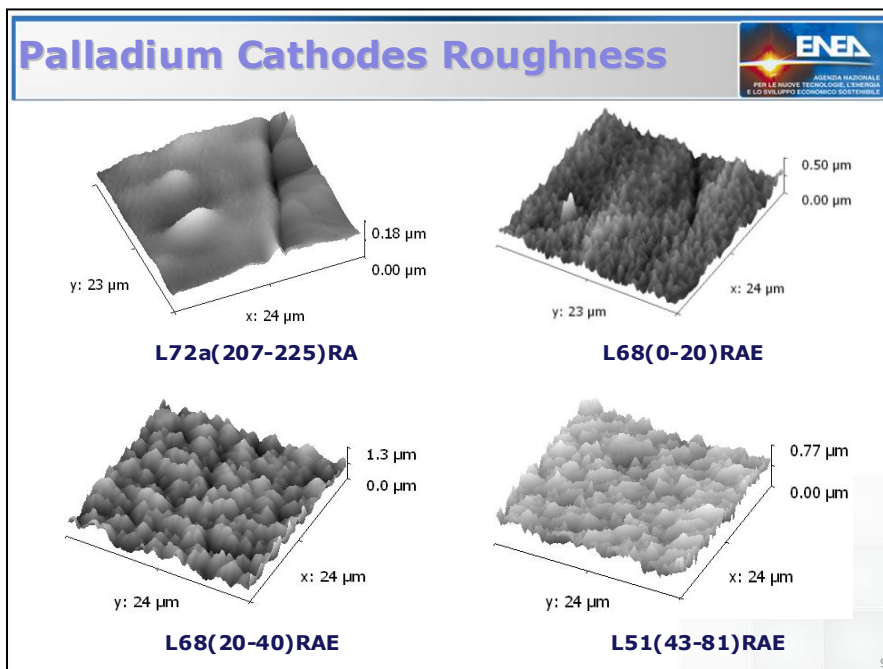


図 3.2-8: ENEA では、電極表面の粗さと plasmon 励起の関係を調べている。

ENEA では、Pd 材料の物性の研究、とくに表面状態の分析を進めている。図 3.2-7,8 は、

Castagna が ACS-NET2010 (san Francisco) で発表した図で、表面 plasmon のレーザーによる励起と過剰熱増大の相関を調べている。そのときに、Pd 電極表面の粗さ (roughness) がどのように影響するか (nano-fractal との関連) を調べている (図 3.2-8)。

SRI では、見学したところ、現在は、電解実験は大々的には行っていないようであった。

JET Energy Inc. の Swartz は、インターネットサイト Cold Fusion Times で分野の動向を速報することで知られているが、電解実験、とくに最近では codeposition 法、に取り組んでいる。彼はまた、気相法ナノ粒子実験にも取り組んでいる (B. Ahern と組んでいる)。ACS-NET2010 では、磁場付加が codeposition 実験に与える影響を論じた [3.2-5]。図 3.2-9 に Pd+D の deposition 層の厚さと発熱エネルギーゲインの関係を示すデータを示した。

M. Miles は、Fleischmann-Pons の原型装置での改良熱測定と Fleischmann (パーキンソン病のため、イギリスで療養中) と連名での発表をしている [3.2-4]。また、codeposition の実験も続けていて、Pd の代わりに Rh を用いると重水でも過剰熱は出ないことを示している。Codeposition 実験の典型的な過剰熱パターンを図 3.2-10 に示す。

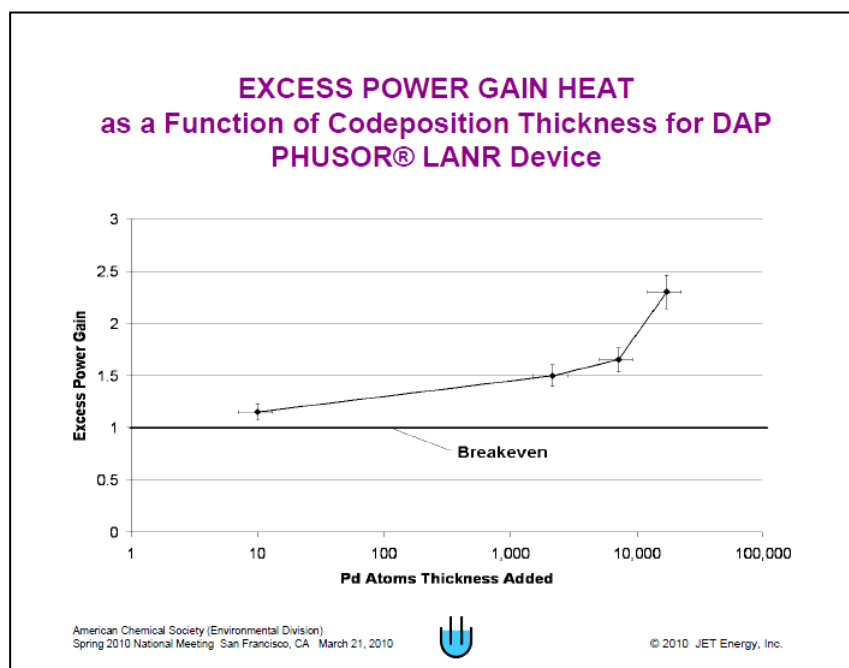


図 3.2-9: Swartz (JET Energy Inc.) の Codeposition 実験のエネルギーゲイン

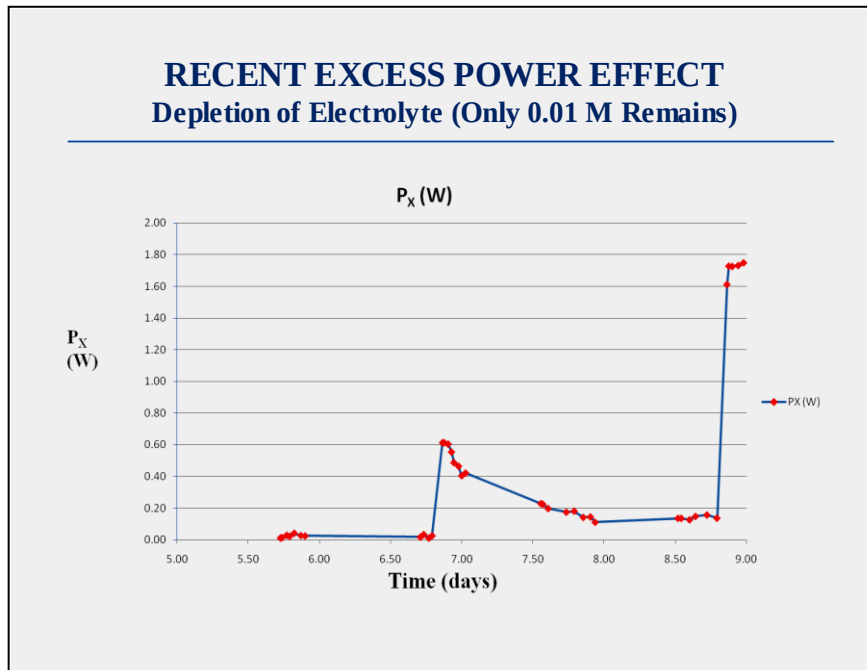


図 3.2-10: *M. Miles* の *codeposition* 法による、最近の過剰熱データ例

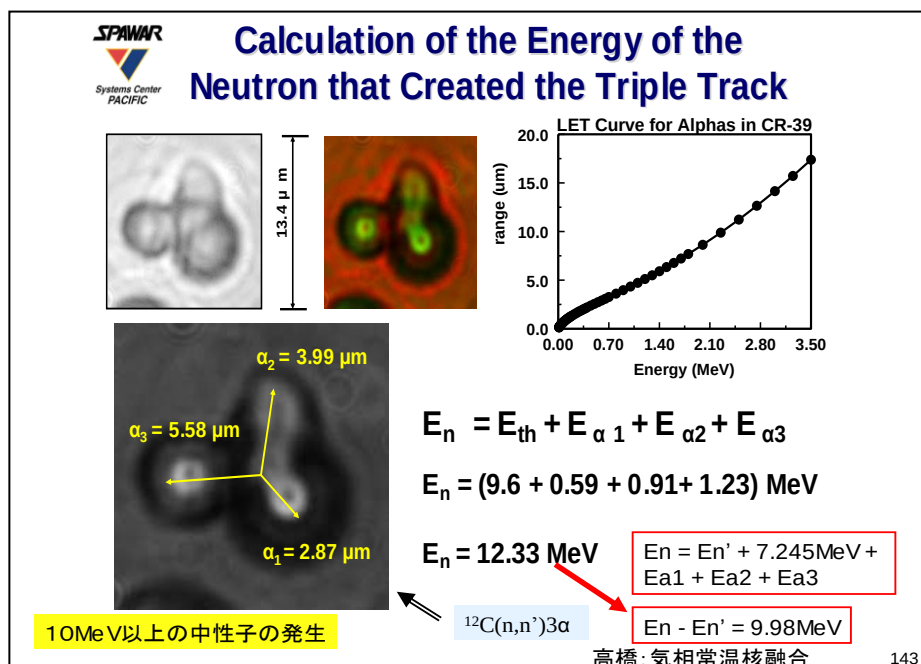


図 3.2-11: *Mosier-Boss* の *codeposition* 実験での、*CR39* による $^{12}\text{C}(n, n')3\alpha$ 反応の検出。
中性子エネルギーを 12.33MeV としているが、非弾性散乱中性子のエネルギー E_n' を補正し忘れている。正しくは、 9.98MeV 以上の高速中性子が検出されたことになる。

Mosier-Boss (SPAWAR, Sam Diego)は、codeposition 実験で CR39 に見つかった triplet ピットが、高速中性子によるものであることを、加速器 DT14MeV 中性子源を用いて比較することにより、同一のパターンと同定した。Codeposition で検出された高速中性子は、d-t 反応の 14.1MeV 中性子ではありえない。その理由は、1MeV のトリトンが PdDx や D₂O 中を減速静止するまでに反応する d-t 反応確率は、10⁻⁵ のオーダーであるからである。すなわち、大量の DD 反応による p + t + 4.03MeV ブランチからのトリトンの一次入射が要求される。しかし、DD 反応の 50%ブランチである、n + ³He + 3.25MeV からの 2.45MeV 中性子の発生は、CR39 のピット多数となって検出されるはずが、無いのである。高橋[3.2-7]は、図 3.2-12 に示すような 4D/TSC 反応のマイナーブランチからの高速中性子を予測した。

6.2 高橋のTSC 4D核融合理論の予測—1

Channels for CP Generation by 4D
I. Symmetric Fragmentation
 1) $4D \rightarrow {}^8\text{Be}^*(47.6\text{MeV}; 0^+, 0) \rightarrow$
 ${}^4\text{He}^*(\text{Ex}) + {}^4\text{He}^*(\text{Ex}) + 47.6\text{MeV} - 2\text{Ex}$

- 1-1) Ex=0;
 ${}^4\text{He}^*(\text{gs}; 0^+, 0): 4D \rightarrow \alpha + \alpha + 47.6\text{MeV}; E_\alpha = 23.8\text{MeV}$
- 1-2) Ex=20.21MeV (1st excited state of ⁴He);
 ${}^4\text{He}^*(20.21\text{MeV}; 0^+, 0) \rightarrow p(0.6-2.2\text{MeV}) + t(\mathbf{1.8-3.4\text{MeV}})$
 $+ (\text{Ex}-19.815=0.4\text{MeV}) + (3.6\text{MeV}; \text{moving } {}^4\text{He}^*)$
; this triton makes secondary d+t reaction
to emit 10-17MeV neutrons

高橋: 気相常温核融合
146

図 3.2-12: 高橋による高速中性子微量発生ブランチの予測

[参考文献]

- [3.2-1] D. Nagel: Hot and cold fusion for energy generation, JCMNS, Vol.4, pp.1-16 (2011)
- [3.2-2] E. Storms, B. Scanlan: What is real about cold fusion and waha explanation is plausible, JCMNS, Vol.4, pp.17-31 (2011)
- [3.2-3] M. McKubre, F. Tanzella: cold fusion, LENR, CMNS, FPE, one perspective on the state of the science based on measurements at SRI, JCMNS, Vol.4, pp.32-44 (2011)

- [3.2-4] M. Miles, M. Fleischmann: Measurements of excess power effects in Pd/D₂O systems using a new isopeliboric calorimeter, JCMNS, Vol.4, pp.45-55 (2011)
- [3.2-5] M. Swartz: Impact of an applied magnetic field on a high impedance dual anode LENR device, JCMNS, Vol.4, pp.93-105 (2011)
- [3.2-6] P. Mosie-Boss, et al.: Review of twenty years of LENR research using co-deposition, JCMNS, Vol.4, pp.173-187 (2011)
- [3.2-7] A. Takahashi: Neutron spectra in CMNS – model predictions and past data, Proc. ICCF15, Rome, 2009 (to be published)

3.3 その他の手法(Narita, Kasagi, Karabut, Mizuno)

その他の手法として、水野一大森が始めた Plasma-electrolysis, ロシアの Karabut が研究している電極水冷却方式のプラズマ放電 (D-gas) 法がある。Karabut は、過剰熱ゲインが 5 程度の発熱と X 線の発生、核変換を報告している(ICCF15, 16)。北大を定年退職した水野は、水質改良ベンチャーを立ち上げて、北大内で活動しているようである。常温核融合・核変換の仕事を継続しているかどうかは、不明である。かれは、日本の学会(JCF)には 7 年ほど前から参加していない。また、海外学会でもこのところ見かけない。

成田ら (岩手大) は、バルク Pd への D(H)ガス吸蔵・脱蔵時の異常な熱バーストと荷電粒子検出の基礎実験を行っている。かれは、低電圧放電法でも実験している[3.3-2]。

東北大の笠木グループは、液体 Li に低エネルギーの d,p ビームを照射する方法で、⁴He 放出反応の電子スクリーニング効果による異常増大について研究している[3.3-3]。

[参考文献]

- [3.3-1] M. Kawashima, A. Taguchi, N. Oikawa, H. Yamada, S. Narita: Proc. JCF-11, pp.29-35 (2011)
- [3.3-2] H. Ougida, H. Sasaki, A. Tamura, S. Narita, H. Yamada: Proc. JCF-11, pp.23-28 (2011)
- [3.3-3] K. Hang, T. Wang, H. Yonemura, A. Nakagawa, T. Sugawara, J. Kasagi: Screening potential of ⁶Li(d, α)⁴He and ⁷Li(p, α)⁴He reactions in liquid lithium, J. Phys. Soc. Japan, Vol.80, No.8 (2011)

4 核変換クレームのその後

4.1 岩村型核変換クレームのその後 (Iwamura, Yamada, NRL)

MHI の岩村らによる (原子番号 4、質量数 8) 増加する選択的な核変換が、Pd/CaO の多層薄膜に重水素ガスを透過させると発生するという、 $^{133}\text{Cs} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$, $^{88}\text{Sr} \rightarrow ^{96}\text{Mo}$ の定量変化の分析 (XPS) の明確なデータを示したクレーム [4.1-1] は、この数年の CMNS-community と外部学会を含めて、非常に注目された論文である。その後の研究の進展はどのようになっているのであろうか。また、他グループによる再現実験や同種の実験の動向はどうなっているのであろうか？

岩村らは、JCMNS Vol.4 に最新の結果を含めて、レビュー論文を載せている [4.1-2]。おもな、新しい結果を拾ってみよう。図 4.1-1 に Ba 添加物とした場合に (原子番号 6、質量数 12) 増加する核変換生成物が発生するとするデータを示す。

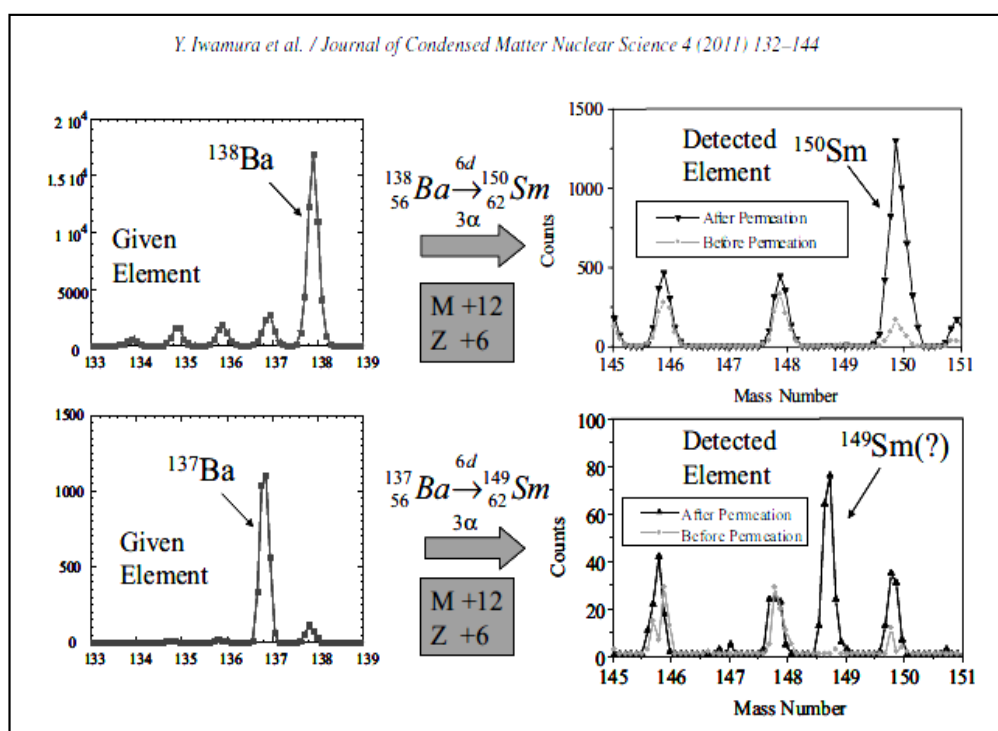


図 4.1-1: 岩村らの新核変換データ。(原子番号 6、質量 12) 増加する核変換をクレーム

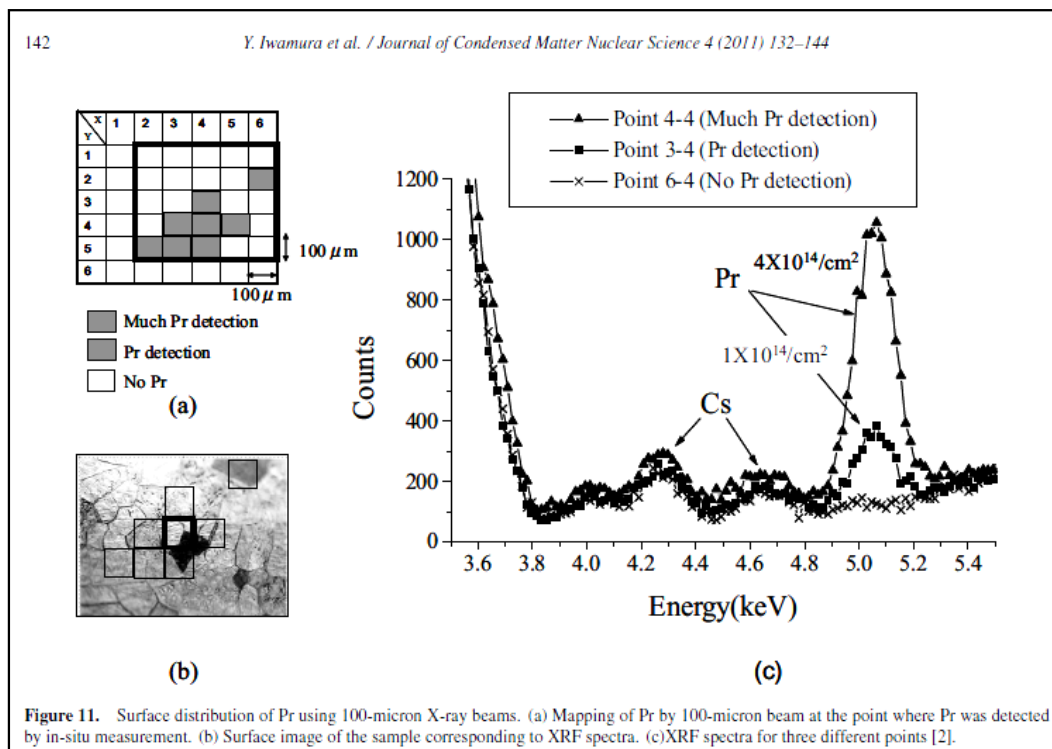
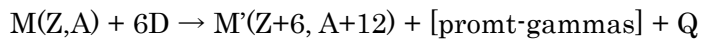


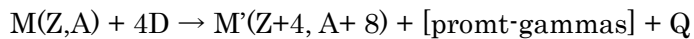
Figure 11. Surface distribution of Pr using 100-micron X-ray beams. (a) Mapping of Pr by 100-micron beam at the point where Pr was detected by in-situ measurement. (b) Surface image of the sample corresponding to XRF spectra. (c) XRF spectra for three different points [2].

図 4.1-2: *Spring8* のマイクロビーム *XRF* 分析で得られた、*Pr* 生成スポットデータは局在化している。

($Z+6, A+12$) 核変換のクレームは、



の核変換を示唆している。以前のクレーム[4.1-1]は



の核変換であった。実験で、4D-capture または 6D-capture の中間複合核 $M'(Z+4, A+8)^*$, $M'(Z+6, A+12)^*$ からの非常に高い核励起エネルギー状態からの即発的な遷移で起こる即発ガンマ線 (カスケード遷移で、多数エネルギーピークのガンマ線スペクトルが検出されるはず) が、検出されないというミステリーがある (図 4.1-3)。

$^{133}\text{Cs} + \text{TSC Reactions}$

- $^{133}\text{Cs} + \text{d} \rightarrow ^{135}\text{Ba}(\text{Ex}=12.91\text{MeV}) \rightarrow ^{135}\text{Ba}(\text{stable}) + \text{gammas}(12.91\text{MeV})$
- $^{133}\text{Cs} + 2\text{d} \rightarrow ^{137}\text{La}(\text{Ex}=25.32\text{MeV}) \rightarrow \text{FPs}$
or $^{137}\text{La}(6\text{E}+4 \text{ y}) + \text{gammas}$
- $^{133}\text{Cs} + 3\text{d} \rightarrow ^{139}\text{Ce}(\text{Ex}=38.29\text{MeV}) \rightarrow \text{FPs}$
or $^{139}\text{La}(\text{stable}) + \text{gammas}$
- $^{133}\text{Cs} + 4\text{d} \rightarrow ^{141}\text{Pr}(\text{Ex}=50.49\text{MeV}) \rightarrow \text{FPs}$
or $^{141}\text{Pr}(\text{stable}) + \text{gammas}$

Note: (1) + 2d is equivalent to $^4\text{He} + 23.8\text{MeV}$.

(2) We need to detect total 50.49 MeV prompt gamma-ray energy (many cascade gammas)!(Head ache!?)

Takahashi for Ni+H discussion

34

図 4.1-3: 岩村型“核変換”反応で予想される主およびマイナー反応。即発ガンマ線はなぜ観測されないのかは、大いなる疑問で、頭痛の種。

核変換でなぜ即発ガンマ線が多量に出ないのか、理論考察上の頭痛の種である。また、4D-capture, 6D-capture は、試料中の主成分である Pd, Ca, O ではなぜ起こらないのかもミステリーである。最近の SPring8 のマイクロビーム放射光を用いる XRF 分析の結果 (図 4.1-2) を見ると、 ^{141}Pr が試料中のミクロスポットに非常に局在して見つっている。なぜ、このようなことになるのか？ 核変換を理由にするのは難しそうである。Pr の局在スポット集積は、物性・化学的な理由で、試料中にもともと含まれる低密度の Pr が拡散偏在・集積した (D ガス透過のときのみなぜそうなるか？ 説明は難しそう。) と解釈できないものであるのか？

岩村実験の追試が、かなり系統的にアメリカ NRL で行われた。岩村もこの実験にコミットしている。NRL の結論は「岩村型核変換は、起こっていない。実験は Pr のコンタミ」とする見解である。ローマの ICCF15 で、NRL の D. Kidwell がそのように報告した。その場で、岩村はコンタミではありえず、NRL の実験条件に問題があると反論した。

豊田中研の日置らのグループも、岩村核変換の追試を行っている。Sr から Mo の生成については、negative な測定結果[4.1-3]であった。表面の XPS 分析で不純物として硫黄 (^{32}S) が混入して、Mo と誤認されやすいと述べている。しかし、Cs については、Pr の顕著な増加が観測されたという結果が出たということである (未発表)。

岩手大の山田ら[4.1-4,5]は、TOFSIMS による高分解能の質量分析を実験前後の試料について行っている。 ^{137}La が見つっている (図 4.1-3 参照) との報告を JCF 会議で行った。

今までのところ、「岩村型核変換のクレームを証明する直接的な核反応の証拠は見つかっていない」。核変換のクレームは、すべて傍証による「核変換以外に説明が見つからない」とする推論の段階にあるといわざるを得ない。今後の実験による究明と、即発ガンマ線が発生しない理由付けなどが要求されている。

[参考文献]

- [4.1-1] Y. Iwamura, M. Sakano, T. Itoh: Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41, pp.4642-4648 (2002)
- [4.1-2] Y. Iwamura, et al: Observation of low energy nuclear transmutation reactions induced by deuterium permeation through multi-layer Pd and CaO thin film, JCMNS, Vol.4, pp.132-145 (2011)
- [4.1-3] J. Gao, et al: Investigation of nuclear transmutation of Sr into Mo using D₂ permeation through Pd foil, JCF9-2, 2009
- [4.1-4] M. Kawashima, et al: Search for nuclear phenomena in deuterium desorption process with multi-layered metal complex, Proc. JCF-11, pp.29-35 (2011)
- [4.1-5] H. Ougida, H. Sasaki, A. Tamura, S. Narita, H. Yamada: Search for nuclear phenomena in deuterium irradiation to nano-structured metal under glow discharge, Proc. JCF-11, pp.23-28 (2011)

4.2 Ni-H 系の核変換クレーム (Rossi、Piantelli)

2011 年 2 月、イタリアの世界最古大学の Bologna U.の研究グループ (A. Rossi 他) は、Ni パウダーに 300 度C以上の高温の条件で H₂ ガスをチャージする手法で、入力 300W(ヒーター加熱)で水冷蒸気出力 12kW の熱発生を数時間以上示す装置 (Ecat) の「公開実験」を行って、community 内外の非常な注目を集めた。特許出願中で、詳細を記述した論文は公開されていない。この 2011 年 10 月に、出力 1MW のデモを行うと息巻いている。

Rossi は、自分たちのブログ、“Journal of nuclear physics” で、「Ni + p の核変換で銅 Cu が大量に生成して、陽電子崩壊熱で発熱した」と発表した。しかし、図 4.2-1,2 に示すように、そのような陽子捕獲反応では、中間複合核の高エネルギー励起状態から基底状態に遷移するとき、大量 (発熱原因なら致死量の) の即発ガンマ線が発生するはずである。しかし、そのような lethal gamma の観測はされていなく、実験者も生きている。

2011 年 10 月 6 日には、Bologna 近郊の施設で、B. Josephson などの 20 人ほどの学者・研究者の立会いの下、1MW 装置 (数十個の Ecat 装置の集合) の一ユニットのテストが行われた。出力 3.5kW で数時間の入力ゼロでのランの公開試験が行われたようである。真のエネルギーゲインや、カロリメトリーの合理性について、インターネットでのブログ議論が欧米で盛んである。実験装置の内容が公開されることを期待したい。

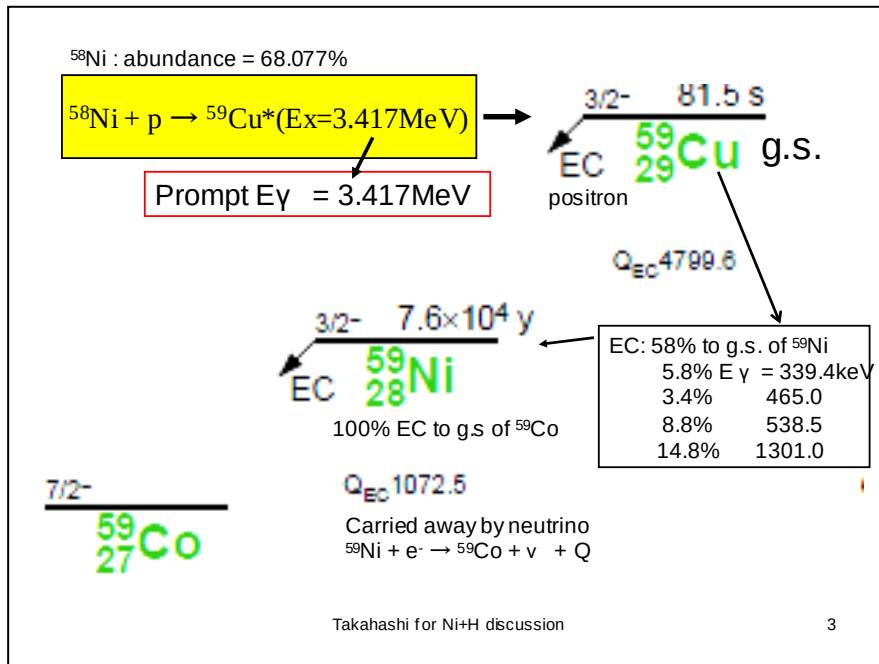


図 4.2-1: $\text{Ni} + p$ 反応の出口チャンネルと放射線 (Rossi は、 $^{59}\text{Cu}^*$ 状態をスキップして $^{59}\text{Cu}(\text{g.s.})$ が直接反応で生ずるとの間違いをしている。)

Prompt gamma-rays by p-capture should be observed:
 E_γ values given are sum-energies of complex cascade decays

$^{60}\text{Ni} + p \rightarrow ^{61}\text{Cu}^*(\text{Ex}=4.78\text{MeV}) \rightarrow ^{61}\text{Cu}(\text{g.s.}) + E_\gamma (4.78\text{MeV})$
 $^{61}\text{Cu}(\text{g.s.}; \text{EC}: 3.3\text{hr}) \rightarrow ^{61}\text{Ni} (67\% \text{ to g.s.} + 33\% \text{ many gammas})$

$^{61}\text{Ni} + p \rightarrow ^{62}\text{Cu}^*(\text{Ex}=5.87\text{MeV}) \rightarrow ^{62}\text{Cu}(\text{g.s.}) + E_\gamma (5.87\text{MeV})$
 $^{62}\text{Cu}(\text{g.s.}; \text{EC}: 9.7\text{mon}) \rightarrow ^{62}\text{Ni} (99.6\% \text{ to g.s.} + 0.4\% \text{ gammas})$

$^{62}\text{Ni} + p \rightarrow ^{63}\text{Cu}^*(\text{Ex}=6.12\text{MeV}) \rightarrow ^{63}\text{Cu}(\text{g.s.}) + E_\gamma (6.12\text{MeV})$

$^{64}\text{Ni} + p \rightarrow ^{65}\text{Cu}^*(\text{Ex}=7.45\text{MeV}) \rightarrow ^{65}\text{Cu}(\text{g.s.}) + E_\gamma (7.45\text{MeV})$

Abundance: $^{60}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}/^{62}\text{Ni}/^{64}\text{Ni} = 26.223\%/1.140\%/3.634\%/0.926\%$

Takahashi for Ni+H discussion

4

図 4.2-2: $\text{Ni} + p$ 反応のマイナー同位体での反応経路。即発ガンマ線は必ず出る。

アメリカやイタリアのインターネットでブログ議論が、以来、毎日盛んに行われている。装置の中身（構造と試料詳細、運転条件など）が Black-box 中のため、盛んな推測議論が行われている（とくに、水蒸気温度、流速と熱測定の疑問）が、真偽の判断は難しい。中身の公開で学術的な peer-review が行われるのを待つこととなる。Piantelli は、NiH 系で高温 H ガスチャージの手法で、異常過剰熱とガンマ線を検出したと最初に報告した（高橋亮人：常温核融合 2006, 工学社：参照）。Piantelli も現在、高ゲインの NiH デバイスを開発中のようなのである。

5 応用・工業化への動向

5.1 メゾ触媒反応による新水素エネルギー技術

まづ、もっとも応用上重要な異常発熱現象のまとめを、図 5.1-1-4 に行った。

まとめー7.1

1) ナノ金属(Pd)パウダーと気相D(H)ガスチャージ法:

- 最初に荒田らにより報告され、神戸グループがまず追試に成功し背景物理を追及している。神戸グループのまとめによると、ナノPd・ZrO₂複合試料により、6 kJ/g-Pdの熱エネルギーが発生した。最新のLiイオン電池の出力が、0.4 kJ/g-Liであることから、これは希望を持たせるデータである。Phase-Iの発熱原因が仮に化学反応によるとしても、エネルギー貯蔵・変換装置への展望がある。Phase-IIの発熱量が大きく増大できれば、クリーンで小型の高密度核エネルギー装置として、無限大の夢が膨らむ。

高橋：気相常温核融合 52

図 5.1-1: 異常発熱現象のまとめ、その 1

まとめー7.2

2) Super-Wave 電解法

- Energetics Technologies (Israel) + SRI (USA) + ENEA (Italy)の連合チームが研究を牽引してきた。希望のもてる発熱データを提供してきた。さらに、他グループによる追試確認が望まれる。**Pd表面のin-situでのナノ加工**と使用後の再加工が再現性の鍵の一つであろう。2009年の時点で、約70%の再現性で過剰熱が発生している。ゲインが5以上の発熱ランも多く示された。出力密度は 40W/g-Pdに達し、数日の継続を記録していて、10 MJ/g-Pdの積算出力である。

高橋：気相常温核融合

53

図 5.1-2: 異常発熱現象のまとめ、その2

まとめー7.3

3) D/Pd共沈殿電解法

- SPAWAR(米海軍San Diego)とJET Technology 社(米国)で研究中。過剰熱発生レベルは、0.1-0.3W程度と大きくないが、**ほぼ100%の再現性が特徴である(M. Miles, ACS-NET 2010, SFO)**。
- 電極表面に**カリフラワー状のナノ構造**ができることが分かっている。これが、メカニズムの大きなヒントである。

高橋：気相常温核融合

54

図 5.1-3: 異常発熱現象のまとめ、その2

まとめー7.4

- **気相吸蔵発熱方式は、液相方式に比べると、とりあえずの将来性が高そうである。**以下の理由による。
- まず、この方式は、実験条件が比較的純粋であるために、**凝集系核現象の背景物理を解明する研究手段として、適している。**物理メカニズム(原理)がわかれば、スケールアップ装置の設計、テスト、改良から、エネルギー生産の実機にいたる道程が描きやすい。また、熱電変換効率の向上のため、300-500度Cの温度での運転に適していよう。**原理ゲイン; 10以上可能**
- Pdは高価な貴金属である。より安価な、Ni, Ti, などの合金を含めての、ナノ材料試料の開発が大きな力ギとなる。すでにその方向で、アメリカ、日本、中国、ロシア、イタリア、などが動いている。

図 5.1-4: 異常発熱現象の現状のまとめ

気相方式でナノ Pd や二元ナノ粒子担持パウダーにより観測されている高密度の発熱は、数十パーセント以上の成分が、見かけ上「化学発熱」とみなされる。(Sorption-E)/(Desorption-E)間のエネルギーゲインが 10-30 と大きい。この高密度化学発熱は、「メゾ触媒による水素ガスとの反応熱」である。エネルギー貯蔵・輸送・発電への「分布型装置」への応用は、可能性があるであろう。

Pd 粒子含有の試料では、使用後の酸化処理により性能が回復することがわかった。Pd の粒子径を 1-10nm にそろえることにより、sintering などによる劣化を防ぎ、酸化処理により繰り返し使用が可能と思われる。担体材料は、安価な細孔シリカ系セラミクス（または zeolite 系）が実用的と思われる。

しかし、Pd は高価な貴金属であるので、消耗することはないとは言え、6kWH/kg-metal 程度（標準家庭の一日の電気使用量）の発熱現象であるから、高価すぎる装置となってしまう。Pd₁Ni₇ のような二元ナノ試料は、Pd の使用量を 1/10 程度に減らすことができよう。さらに、ad-atom 作用の Pd を Cu, Th, La, などのより安価な材料原子に置き換える今後の研究が必要である。（米日イで進行中である。）

この新化学発熱は、試料温度の上昇で大きくなる傾向があると報告されている。また、メゾ触媒の potential GMPW などの非線形量子振動の誘起の観点からも、温度をパラメータとする出力（熱、吸蔵率）特性の研究が待たれる。

現在までの実験は、ごく少量（1-10g）のサンプルを用いて行ったものである。サンプル

の量を桁違いに増量して、スケーリングが成立することを確かめるより工学的な試験が必要である。

発熱を電気変換する方式（ガスタービン、熱電変換素子、燃料電池との組み合わせ、など）を検討する段階が、そのあとで来ることになるろう。

電解法など、液相方式では、発熱条件が 100%再現する条件、装置を見出すことが、第一歩である。短時間のエネルギーゲインと出力密度は、十分に大きなデータが出ているので、反応持続時間を長くすることが課題である。ミズーリ大の新研究センターからの成果報告が ICCF17(韓国、大田、2012 年 8 月)でなされるものと期待する。

5.2 分散型クリーン核融合装置への展望

気相実験での D (H) 同位体効果の η 値の時間依存の振る舞いから、4D/TSC 理論が予測するような核反応（常温核融合）の成分は、異常発熱に含まれていることが、実験結果から推測された。しかし、これは、まだ傍証のデータにとどまっている。今後、 ^4He の生成の確認と熱量との相関のデータが必要である。

神戸大では、B 系装置で核反応の荷電粒子スペクトルを直接測定する実験が進行中である。彼らは、X 線、EUV や可視光線の検出も計画している。核反応を示す直接のデータが得られることを期待したい。

気相実験の Phase-II で時たま D ガスのみで観測された過剰熱は、核反応起源である可能性がある。この現象の再現確認と、熱量増大・持続法の研究を望みたい。

Phase-I 現象に付加して発生しているようにみえる「核反応成分」を増大するメカニズムとして、メゾ触媒の GMPW 内の周期振動子（非線形結合振動）のエネルギーレベルを増大して、4D/TSC($t=0$)密度が T-site 付近で増大するようにする手段の追及が面白そうである。単純には、試料「温度の上昇」、レーザー照射、超音波照射、磁場印加、などが思い浮かぶ。

D 系での核反応成分を飛躍的に増大する手段が発明されたとき、常温核融合が Sustainable Green Energy Source として非常に大きな意味・意義を持ち始めるときである。これは、長期の基礎研究テーマとなっている。

CMNS/CF 研究は、世界中の各国のマイナーな研究者たちのボランタリーな努力で、この 10 年間持続してきたといえる。しかし、政府機関などからの研究資金提供は、各国ともにほとんどゼロであった。研究資金の流れが無ければ、正規機関（大学、研究所、会社）での組織的研究体制は生まれない。また、若い研究者の参加も望めなくなる。CMNS/CF 研究者は、かくして、次第に老化し、全体の活力は低下している。一方で、学問的には、現象の確認と背景物理の解明が進んでいる。インドや韓国の“政府方針の”参入も見られる。日本では、研究資金の流れを作ることが、鍵であろう。

付録—1：ICCF15 報告

ICCF15 (15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science) は、2009 年 10 月 5 日から 9 日まで、イタリアのローマ市中心部にある Angelicum 大学の会議施設で開催された。登録した参加者は、134 人で、イタリア 56 人、アメリカ 38 人、日本 12 人、ロシア 4 人、中国 4 人、イスラエル 4 人、フランス 3 人、英国 2 人、ドイツ 2 人、その他、インド、ルーマニア、ウクライナ、ノルウェー、などからの参加があった。

その他に、当日参加者を加えて、合計約 150 人が参加した。



写真-1 ICCF15 発表会場,(初日開始前の様子)

主催は、イタリア国立代替エネルギー研究所 ENEA である。ENEA は、高温核融合のイタリアでの研究拠点である。凝集系核科学（以下 CMNS と記す）は、ICCF15 議長を務めた Vittorio Violante を中心に世界的にも最も活発な研究グループを擁している。また、イタリア化学会、イタリア物理学会が後援団体となったことは、ICCF シリーズの会議では、権威ある学術団体のサポートとして、画期的な会議であった。“常温核融合”（凝集系核科学の世間的呼び名）の世界会議は、今までは、主催を選ばれた議長のもとでボランティア中心に企画・運営・実行するケースがほとんどであった。CMNS/CF が、広く科学界一般に“認知”されなかった事情があった。しかし、今回は、

違った。この変化が今後さらに定着していくか、見守る必要がある。

初日はイタリア化学会の会長、イタリア物理学会の副会長、EU 科学部の代表の挨拶・講演が、会議の開始を飾った。

10月5日(月)の学術発表プログラムは、電気分解による発熱現象の実験と理論解釈によって占められていた。**Fleischmann-Pons Effect (FPE)**を「正統づけんとする意思」が、主催者あるいは、会議の実質的な財政スポンサーとなったイスラエルの **Energetics** 社 (**S. Lesin** が **ICCF15** 副議長を務めた) と **SRI** (アメリカ) の関係者から強く働いた跡がうかがえた。

まず、ミズーリ大学副学長の **R. Duncan** が、2009年4月に米国有力報道局 **CBS** の「**CBS 60 minutes**」の **CMNS/CF** の肯定的報道で世界的に知れ渡った、**Energetics** 視察と発熱現象の確認に至る話を中心に講義して、学術的発表の先頭を切った。有名となった、**Energetics+SRI+ENEA** の共同研究の成果(発熱、材料分析、ヘリウム)の概略が述べられた。注目されたのは、神戸グループ(神戸大とテクノバの共同研究)の **Pd** ナノ粒子と重水素(軽水素同時並行運転)でのガス吸蔵法による実験結果(**PLA 373(2009)3109**に刊行)を大きく採り上げて紹介したことである。**CMNS/CF** 実験での過剰熱発生は、**REAL**(実際に起こっている)であると結論し、電解法(**super wave**)とともに、ガス相での実験が有力であると力説した。現象のメカニズム・理論解明は、これからであるとして、ミューオン核融合を引き合いにして、考察した。

次いで、**SRI** の **M. McKubre** が「常温核融合の科学状況」と題して、持論(発熱の3条件; $D/Pd > 0.83$ 、電流密度に閾値がある、重陽子流速に比例)を繰り返し、強調した。出力は、過渡的には $1kW/cc\text{-}Pd$ に達し、平均で約 $150W/cc\text{-}Pd$ が1ヶ月続いた例がある。

入力3倍以上の熱出力が得られていて、積算で $100MJ$ に達する。異常発熱現象の存在は間違いない。何らかの未知の核発熱と考えられるが、反応の生成物(灰)が何かが問題である。ヘリウム-4 (4He) が実験的に“灰”の有力候補である。約 $24 MeV/^4He$ のエネルギー発生に対応している。

関連しての、材料分析(抵抗比による D/Pd 比の決定とX線回折による分析)を **NRL** の **G. Hubler** が、熱測定の安価手法を **NRL** の **D. Knies** が、**NENE** での材料研究の成果を **V. Violante** (chairman of **ICCF15**) が、**Energetics** の熱測定精度の検証(エラーはありえないことをいろいろな角度から分析した)を **A. El-Boher** が、順次述べた。**El Boher** は、新しいデータとして、#141 ランで、**Excess Power** が $14 W$ に達したと述べた。**Super-wave** 入力の高周波数スパイクの入力を過小評価している可能性は、 $200MHz$ までチェックしたが、ありえない。**McKubre**、**Violante** や **NRL** の連中は、この企画された一連の発表で **FPE** 現象が正しいことがアピールできたと、筆者に語った。

Letts と **Hagelstein** は、**Dual Laser Beam** のうねり周波数に共鳴する過剰出力について、**ICCF14** に続く発表を行った。うねり周波数が $5\sim 20 THz$ で過剰熱が、 $200 mW$

レベルのピーク（共鳴）を示す。Pd 陰極重水電解実験である。

M. Miles と **M. Fleishmann** は、ICARUS 電解法（NHE プロジェクトの主実験法であった）でのカロリメトリーの新方法をのべた。

W. S. Zhang（中国国立化学研究所、北京）は、**J. Dash** の $D_2O+LiSO_4$ 電解での過剰発熱を報告した。

初日の理論のセッションでは、**P. Hagelstein** の持論、**Y. Kim** の BEC (Bose-Einstein 凝縮モデル)、**Czerskii** の 3D-fusion のモデル（**A. Takahashi** の 1989 年 5 月に日本原子力学会欧文誌に発表したモデルと、実質的に同じ）などがあつた。

理論のセッションに入れられていたが、**A. Takahashi** の神戸グループのナノ Pd 複合粒子パウダーを用いた重水素・軽水素同時ランによる D(H)吸蔵率測定と発熱のデータおよびその背景物理の報告は、ICCF15 でも最も注目された評判の良い発表の一つであつた。その内容は、研究状況の最新展開のところで詳しく述べる。



写真-2 P. Hagelstein の質問に答える A. Takahashi

初日（10 月 5 日）の夕方は、Energetics 社(イスラエル)がホストのレセプションが、バチカンの近くにあるサントンジェロ城にて行われた。レセプションのハイライトは、ISCMSNS が新しく設定した「**Minoru Toyota Gold Medal**」(MTGM: 国際凝集系核科学会の豊田稔記念金メダル)の第一回受章者 **Martin Fleischmann** への授賞式であつた。MTGM のいきさつが故豊田稔氏の CMNS/CF 振興への大きな貢献の紹介を含めて、提

案者の前 ISCMNS 会長の高橋亮人（Akito Takahashi）より紹介されたのち、絶大なる祝福の中で Fleischmann に金メダルが手渡された。この賞の紹介は、ISCMNS の web-site にある。



写真-3 Minoru Toyoda Gold Medal の第一回受章(M. Fleischmann; 中央の座っている人、その右の女性は、Fleischmann のお嬢さん), ISCMNS 前会長の A. Takahashi からの経過説明の様子。

2 日目、10 月 6 日（火）の第一報告は、神戸グループの **A. Kitamura** のガス系実験による核反応生成物の究明であった。岩村型核変換の結果のレビューを行い、断定てきではないが $\text{Sr} \rightarrow \text{Mo}$ の核変換を示す positive なデータが多く得られている。ナノ粒子 $\text{Pd} \cdot \text{Zr}$ によるガス吸蔵過程での荷電粒子スペクトル測定を開始していて(B 体系実験)、予備的ながら positive なデータが得られつつある。と報告。発表時間切れのため、質問はなかったが、注目されて、Coffee Break に多くの質問者と議論が交わされた。



写真-4 北村晃教授(神戸大)の発表の様子

D. Afonichev (ロシア) は、チタン合金で D ガスのグロー放電実験を 4 時間 ON・4 時間 OFF のサイクルで行った。 ^4He は発生しないが、トリチウム (T) が 10^{19} 原子以上検出された。中性子測定は行っていない。

MHI の **Y. Iwamura** は、Pd/CaO/Pd 多層膜での D 透過実験の続報として、 ^{15}N ビーム NRA (核反応分析) による D 分布の解析と、Spring-8 の SOR X-線での Pr ミクロ分布の解析について発表した。

続いて、**K. Grabowski** (NRL、USA) が MHI 型核変換実験の追試結果を発表。MHI 作成試料を用いて NRL で実験したが、Cs→Pr の核変換を確認できなかった。これについては、同じく NRL の **D. Kidwell** が、「MHI の Pr は実験室の試薬による汚染だ」と断定する発表をして sensation を起こした。彼が MHI の研究室に行き机の上をスミアーして持ち帰り、NRL で分析したところ Pr が発見された。だから、MHI では、Pr が多層膜試料にコンタミして、D を流すと透過して検出されると、変な理屈で、岩村実験を否定・攻撃した。Coffee-break のときに、彼の上役の G. Hubler と D. Kidwell が並んでいたのも、「コンタミなら、何回も実験しているブランク試料実験や軽水素実験にも、ランダムに Pr が出るはずではないか？」と詰問した。Hubler は頷いたが、Kidwell はコンタミを主張した。

D-ガス透過の Pd/CaO/Pd 多層膜だけで Pr が出る結果が説明できないので、

non-logical だとただした。Hubler は、“そうなんだ”という顔だが、Kidwell は、理不尽を認めない。NRL 先輩の D. Nagel や M. Melich にも「おかしいぞ」と文句しておいた。座長の M. Srinivasan も単純に結論しすぎておかしいとクレームした。Iwamura は即座の反論のコメントをした。

Arata-Zhang-Wang の発表は、preprint を配布しての、Y. Arata による英文読み上げであった。New reactor design として、多層縦列構造の反応セルを新たに作り、Pd・Ni/Zr 複合ナノパウダーと D-ガス吸蔵の実験結果を発表。第一フェーズでは、Pd-Ni-ZrO₂ パウダーが Pd-ZrO₂ パウダーより数倍大きな発熱を示した。⁴He の発生量も Pd-Ni-ZrO₂ 系のほうが比例して多かった。

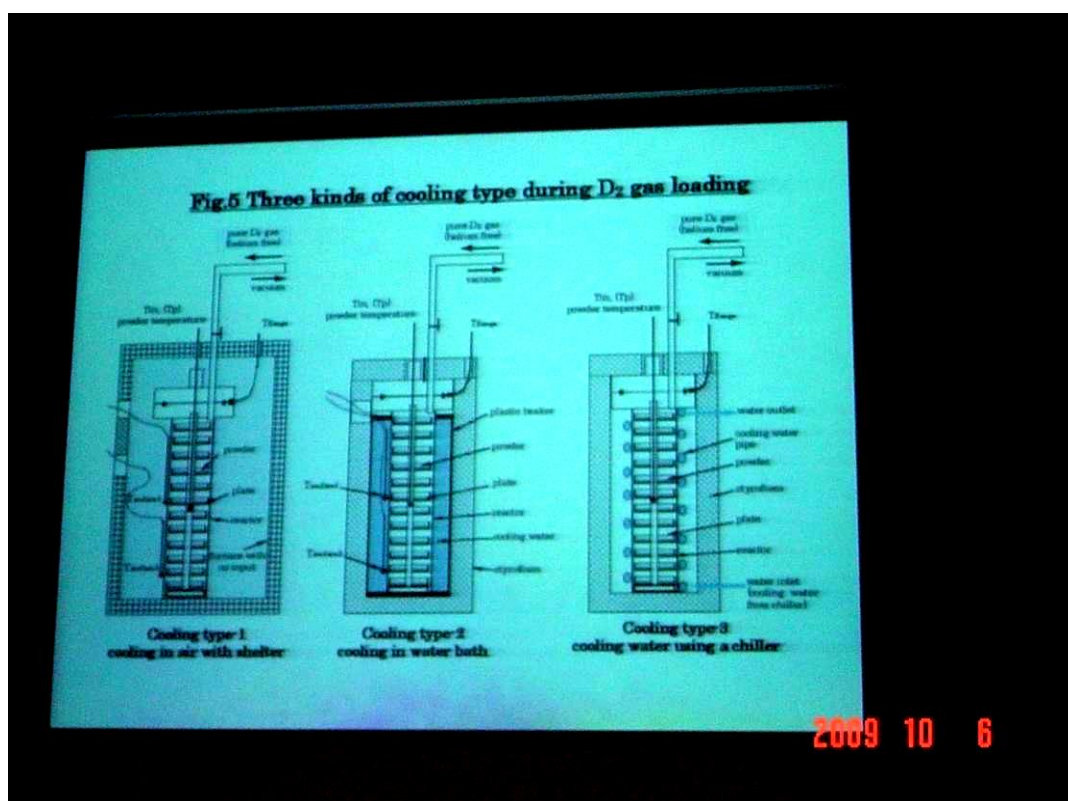


写真-5 荒田の反応セル新デザイン

写真-5 荒田の反応セル新デザイン

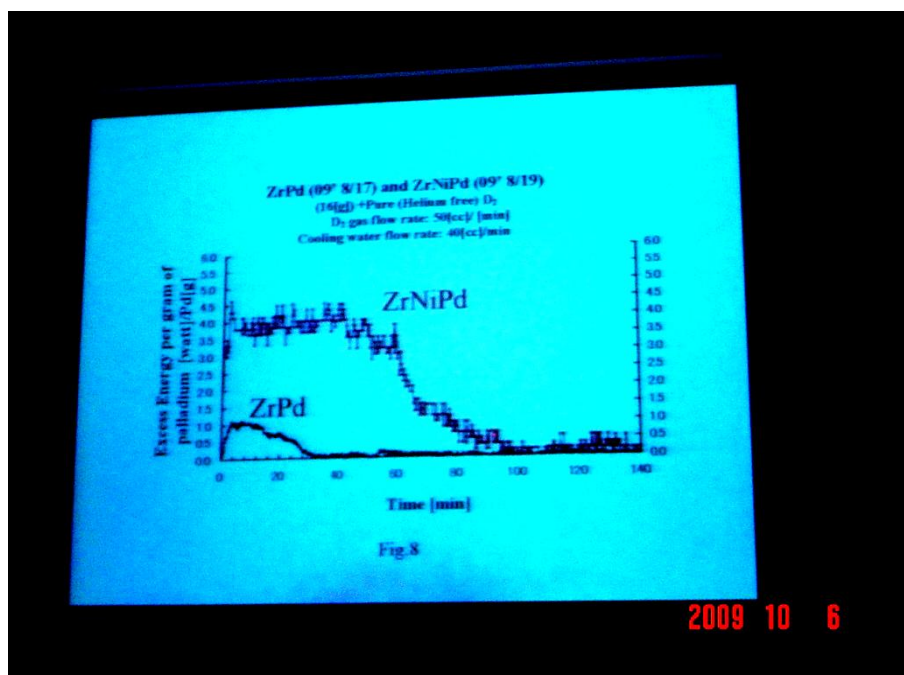


写真-6 荒田らの最新データの例(ZrNiPd 混合粉末で Phase-I での発熱が大)

F. Celani の発表は、Pd のミクロンサイズのワイヤーの表面をナノ加工して、パルス電流を流しながら 500 度 C 程度の高温で、D ガスをチャージし、過剰熱発生を観測したとする ICCF14 の発表の続きであった。150 W/g-Pd の高密度の過剰熱が発生したという。この装置を、日本人 9 人のグループが 10 月 9 日金曜日に Frascati の INFN の Celani グループの実験室を訪問・見学した。



写真-7 Celani のミクロン Pd ワイヤーによる発熱実験装置

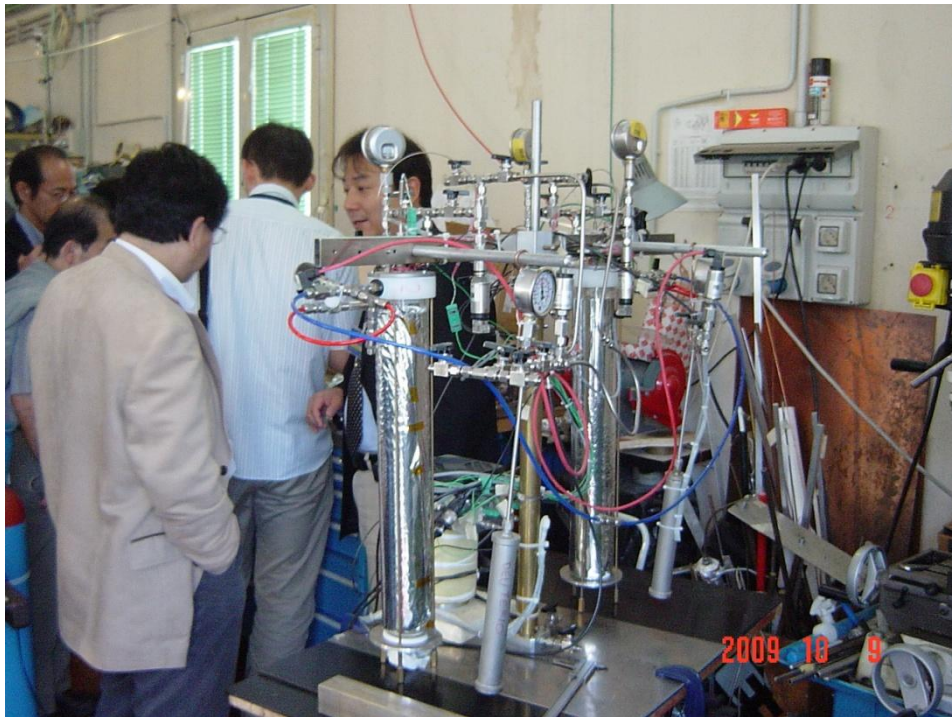


写真-8 Celani の Arata 方式実験 Twin System



写真-9 Dr. Francesco Celani, INFN, Frascati, Italy



写真-10 INFN の Celani 研究室を見学した日本人グループとの記念写真
(前列右から3人目北村晃、その左に高橋亮人、Francesco Celani)

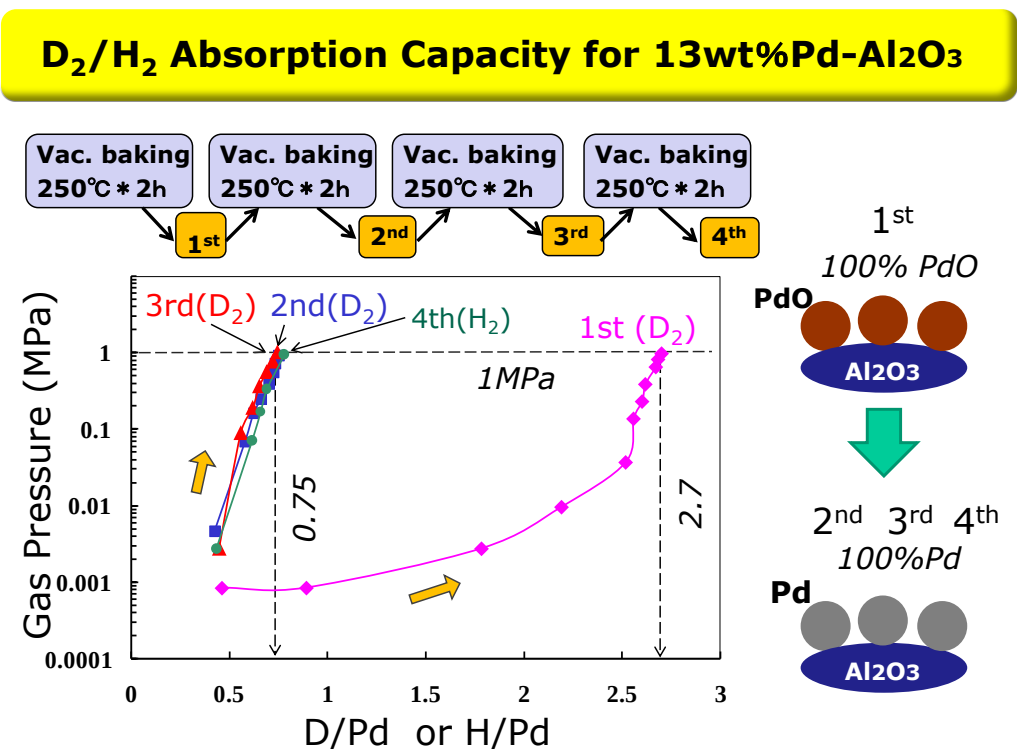
中国の精華大学では、**X. Z. Li** を中心に、多層膜による D-ガス透過での発熱実験を行っている。また、**Li** は、量子波の多層膜による共鳴のモデルを考えて、理論化しようと試みている。

先ほどの、**D. Kidwell** は、1 nm 径 5% Pd/SiO₂ ナノ複合パウダーを用いてゼオライトを作成して試料とし、D と H-ガスを交互に吸蔵・放出を繰り返す実験をしている。D のときに発熱量ピークが大きくなる傾向が出る。しかし、彼は、酸化した水 (H₂O、D₂O) の発生による化学発熱だと言っている。同位体効果が大きすぎることになると思うが、不思議な論理を展開する。(その後彼は、D での発熱増大が H の3倍に達して、異常発熱現象だと、アメリカ内討論で認める。)

10月7日水曜日の朝、神戸グループの**佐々木 (Y. Sasaki)** が、Pd/ZrO₂ ナノパウダーでの D(H)ガスチャージでの D(H)吸蔵率・発熱の実験の詳細 (初日の高橋 (A. Takahashi) の報告の前段) を行った。第一フェーズの発熱が、PdO の酸化による水生成の熱ではないかとの質問に、**北村** が、「結果の表の E1st は、D(H) 1原子あたりの発熱エネルギーを eV 単位で示している。D で 2.3 eV/D、H で 1.8 eV/H という結果を得ている。水の生成熱は、約 0.7eV/H(D)であるので、観測量は約3倍であり、PdO の還

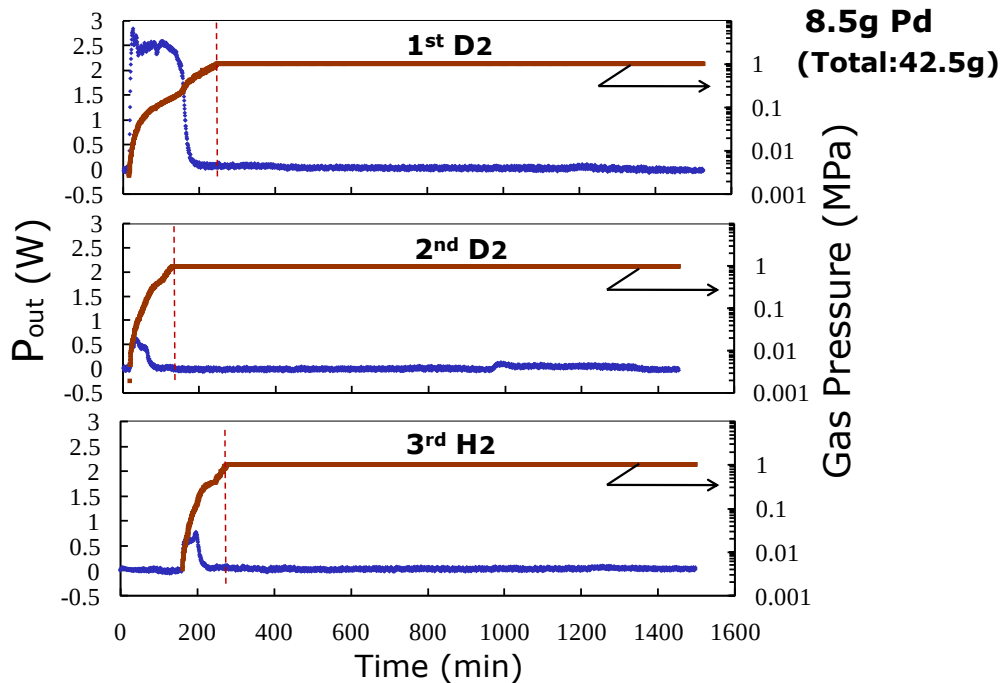
元の負エネルギーも考えねばならず、とても説明できない。D(H)の酸化熱が、測定値に混入しているとする、正味の吸蔵熱は 1.8-2.3eV よりさらに大きくならねばならない。ますます、異常発熱ということになる。と北村が説明して、質問者は納得した。

これに関連して、**T. Hioki (Toyota)**は、Pd ナノ粒子 (2-5nm 径)・Al₂O₃ 複合パウダーで実験して、見掛け上 D/Pd=2.7 という非常に大きな値を得た。しかし、そのうち、2.0 は、PdO の還元による水 (H₂O) の生成によると考えられると報告した。しかし、圧力が最初から連続的に上昇していて、「第一フェーズ現象」が明確に見えていない。一方で、発熱は、矩形の時間変化で、急に終了している。神戸グループの Pd/ZrO₂ のデータと大きく様相が異なる。この理由を追及しなければならない。PdO に D(H)ガスを吹き付けるだけで本当に 100%燃焼して水ができるのか？ 空気中に H₂ガスを放出しても、簡単には酸素と反応して燃えない。日置らの考察は、検討を要する。もし、PdO で H-ガスが 100%燃焼するのなら、それだけで、エネルギー変換発生器への応用ができる。



スライド-1 日置らの Pb ナノ粒子・アルミナによる D(H)吸蔵の結果

Heat Evolution : 20wt%Pd- γ Al₂O₃



スライド-2 日置らの Pb ナノ粒子・アルミナによる D(H)吸蔵による発熱結果

ICCF15 の発表は、上記以外にも、核測定で、**A. Lipson** の CR39 による 2-20MeV アルファ粒子の測定・検出、**Y. Toriyabe** (鳥谷部) の d-Li(liquid)実験、**J. Dufour** の長距離 Yukawa 力理論、**A. Muelenberg** の (p+e) 近接理論などの、新理論の発表、**N. Cook** の Nuclear Lattice Model などの発表が眼をひいたが、紹介を省略する。

その他の多くの発表のうち、主催者の ENEA の都合と思われるような CMNS/CF 研究からやや的外れな（しかし内容はあった）発表も多かった。それは、材料開発・分析に関連したものが、ほとんどであった。

Poster 発表にも、多くの面白そうなものが Abstracts に見られる。しかし、会議では、ポスター議論の時間配分が、事実上なく、見て回ることがかなわなかった。残念である。論文発表は 110 件ほどで、口頭発表が約 70 件、ポスターが約 40 件であった。ロシア人の多くが参加せず、発表がキャンセルとなった。