

ICCF20 報告

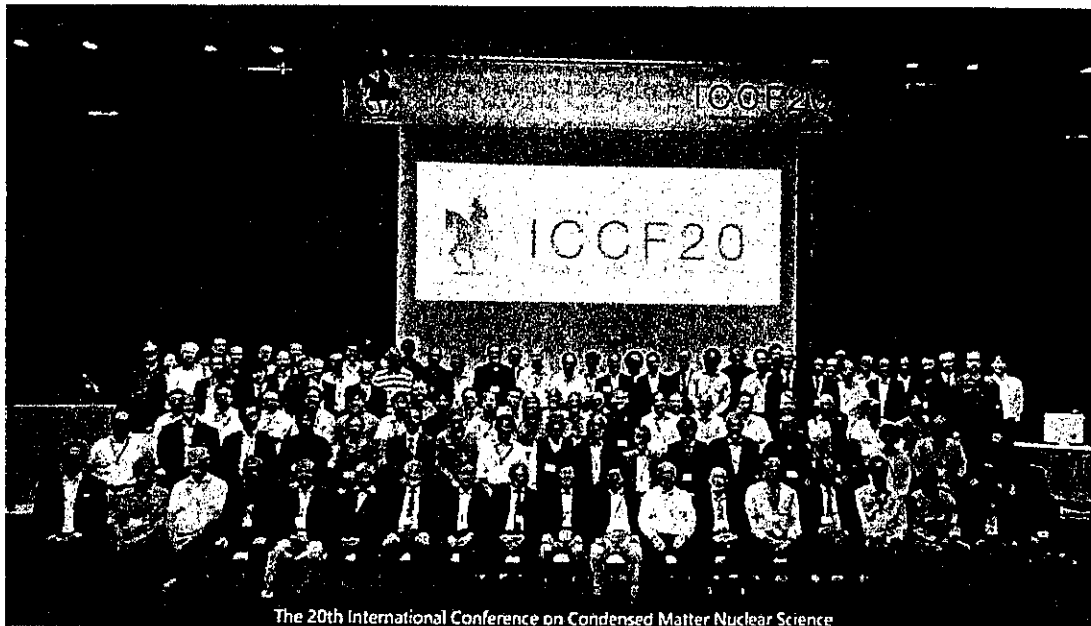
北村晃(櫛テクノバ)、土屋賢一(東京高専)

第20回の常温核融合国際会議 ICCF20; <http://iccf20.net/> が、10月2日～7日にわたって仙台市情報・産業プラザの多目的ホールで開催された。2015年4月に、東北大学電子光物理学研究センター(ELPH)に凝縮系核反応研究部門 <http://hayabusa1.lns.tohoku.ac.jp/research/?id=a4> が株式会社クリーンプラネットの協力を得て産学連携部門として設置されたことを契機に、同部門の笠木治郎太研究教授と岩村康弘特任教授、伊藤岳彦客員准教授らを中心として企画され、運営された。会場は仙台駅から至近距離で、ホテルや飲食街も周辺に集中し、非常に便利な会場設定であった。



登録参加者は事務局によると145名(19ヶ国)であった。日本から78名、米国34名、フランス8、中国4、スイス4、イタリア3、インド2、スウェーデン2、ウクライナ2、そして、ベルギー、カナダ、ドイツ、ハンガリー、アイスランド、カザフスタン、韓国、ポーランド、スペイン、英国からそれぞれ1名参加した(勘定が合わないが)。ロシアからの参加者がゼロであったことや、イタリアから V. Violante らのグループが来ていなかったこと、米国から常連だった M. McKubre, G. Hubler, D. Kidwell, Y. Kim, R. Duncan, O. Dmitrieva, R. Cantwel らの姿がなかったことが驚きであった。

会議は、共同議長を務めた笠木教授と岩村教授の開会あいさつに始まり、花輪公雄東北大学理事と濱広幸 ELPH センター長のあいさつが続き、最後に奥山恵美子仙台市長のボイスメッセージが流された。市長の非常に流暢な英語には感心させられた。



ICCF20 Group photo (ICCF20 事務局撮影)

次いで、2 件の特別講演があった。一つは M. Mckubre (Seashore Research) であったが、彼自身は健康上の理由で欠席したため、同社の T. Dardik が彼の四半世紀を超える CF 研究活動を振り返った。2 件目は東京工大・先進エネルギー国際研究センター長の柏木孝夫特命教授であった。水素エネルギーの現状、近い将来では固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の普及と炭素回収・貯留・利用 (CCUS) の開発が急務であり、20~30 年後には核融合も期待しなければならないと論じた。

以下に、(A)実験関係、(B)理論関係 の順に内容の概要を紹介する(敬称略)。

(A) 実験の進展

近年、ガス相 H 吸収時の Ni 系材料の過剰熱に関心が集まっている。特に注目されていたのが A. Rossi (Leonardo Corp.) の E-Cat、及び A.G. Parkhomov ら (Lomonosov Moscow State U.) の “Rossi analog” での再現実験である。一方、電気分解を見直す動きもある。以下に、(1)ガス相吸収法、(2)電気化学的吸収(電気分解)法、(3)核変換、(4)反応断面積/遮蔽ポテンシャル測定、そして(5)プラズマ、超音波照射、(6)その他・新方式・応用 に分類して順に述べる。発表者名に“(所属)[nA##]”を付すが、n はセッション番号(ポスタは“p”)、A##は Abstract Book に掲載されている発表番号である。

(1) ガス相 D/H 吸収時の過剰熱

(1-a) Defkalion 社 Hyperion の出力測定法の誤謬が露呈した後も、A. Rossi (Leonardo Corp.) の E-Cat は、Rossi 自身が詳細を公表せず胡散臭いと言われながらも、複数機関による再現実験が好調であったりして、取り敢えず全否定されてはいなかった。昨年 ICCF19 までの時点で、A.

G. Parkhomovら(Lomonosov Moscow State U.)や、J. P. Biberian (Aix-Marseille U.) が同種の試料[Ni + LiAlH₄]を用いて過剰熱を測定したと報告していた。しかし今回の ICCF20 では、追試の中に否定的実験結果も出始めた。

追試関連の報告は 5 機関からなされた。R. W. Greenyer (Martin Fleischmann Memorial Project; MFMP) [2A25]は 1,000°C を超える炉内環境で信頼性高い実験結果を得るために慎重に行った設計製作を中心に発表した。D. J. Nagel (George Washington U.; GWU) [pA57]は、LiAlH₄ の分解に伴う圧力変化が現象の解析に重要だとして、圧力測定に重点を置いた試験炉を紹介し、LiAlH₄ だけでなく NaAlH₄ や NaBH₄ なども試供する予定であると述べた。Z. Tian (Xiamen U.) [pA86]は、追試の結果、現時点で過剰熱は見られていないが、⁶Li/⁷Li 同位体組成比が 60%増加したと発表した。そして A. El-Boher (Sidney Kimmel Institute for Nuclear Renaissance (SKINR), U. Missouri) [pA17]は、Parkhomov や MFMP で用いた実験体系と同じセットアップと加熱プロトコル、Parkhomov-MFMP から譲り受けた Ni パウダを用いて 12 回の試行をしたが、全てに過剰熱は見い出せなかったと発表した。J. Dufour (S*PIC*E)は[3A15]の後半に、abstract には書かれていない LiAlH₄ の実験結果を報告した。1W の過剰熱が 6,000 秒間記録されたとのことである。

(1-b) 一方、Kitamura-Takahashi (Technova Inc.)らは、昇温精密カロリメトリにより、各種 Ni 主体試料のガス相吸蔵時における発熱を長年調べている。ガス相吸蔵法は、元々、メルトスピニング法により作製した Pd_xNi_y/ZrO₂ 試料が良好な過剰熱特性をもっていることを Y. Arata らが見出した(2008)ことから発展してきた。A. Takahashi [1A81]は、2007 年来継続的に行ってきた Technova における水素同位体ガス吸蔵発熱実験を総括的に述べた。主成分の Ni に少数の第二成分原子として Pd や Cu を混入させた時にのみ 10W(15keV/atom-H)程度の過剰熱が 300°C までの昇温時に観測され、それを少数原子の触媒効果によると推論した。それらの試料は、主として上記のジルコニアやメソポーラスシリカを担持体とした試料であった。そしてこの研究は、2015 年から、(株)テクノバ-東北大学(ELPH)-日産自動車(株)(総合研究所先端材料研究所)-名古屋大学(未来社会創造機構)-神戸大学(海事科学研究科)-九州大学(工学研究院化学工学部門)の 6 機関の共同研究に発展している。A. Kitamura [4A46]は、この共同研究における共同作業(ジルコニア担持 PdNi 試料と CuNi 試料の室温及び昇温時の水素同位体吸蔵発熱実験)の結果を発表した。室温で D/Pd-Ni~3.5 に及ぶ初期吸蔵量、0.6eV/a-D の初期発熱量を、昇温時には 5~10W(5keV/atom-D(H))の過剰熱が記録された。前者の評価には、XRD や STEM で存在が明らかになった NiZr₂ を定量してその寄与を相殺する必要があると結んだ。

同じくその共同研究の一環として、テクノバ-神戸大の実験結果を確認すると共に、より多様な試料を試供するために、テクノバ-神戸大の吸蔵発熱測定装置と同じものが東北大にも設置された。Y. Iwamura (ELPH) [4A41]の発表は、テクノバ-神戸大の実験結果を完全に定量的に再現するものであった。これにより同方法の信頼性が格段に向上したと思われる。

同じく共同研究の一員である T. Hioki (Nagoya U.) [12A35]は、メソポーラスシリカ担持 Pd 試

料の改良作製法を発表した。高濃度試料はメゾポーラスシリカ外表面にPdが凝集するために、ナノ粒子特性を示し難いが、その外表面凝集を防ぐ方法の開発である。

Torino 大学 Prof. M. Baricco 研究室の E. Marano は、昨年神戸大研究室に滞在して、上記と同組成の PdNi/ZrO₂ 試料と CuNi/ZrO₂ 試料の D(H)吸蔵発熱実験を共に行った。彼はその試料を Torino 大学で XRD 分析し、NiZr₂ 合金相が存在することを見出していた。今回の発表 [12A49]では、Pd_xNi_y/ZrO₂ 試料における x/y の比率が酸化後組成に与える影響を示差走査熱量測定器(DSC)とXRDにより調べ、NiZr₂、NiZr、PdO、そしてPdの水素化/水素吸収/脱酸素反応を考慮すれば発熱量がほぼ説明できそうだという見解を述べた。

G. Miley (U. Illinois) [3A54]らも 12 μ m の Pd 箔にガス相吸蔵を行い、(4 \pm 0.8)W の過剰熱を得たとしている。格子欠陥や転移ループに固体密度に近い D や H のクラスタができて多量の吸収が起こっている可能性を検討している。

上記の Hioki らと同系統の手法と見做されるのが I. Parchamazad (U. La Verne) [4A68]のゼオライト担持 Pd 試料の D₂ 吸収実験である。彼らは重水素負荷時のみ、過剰温度上昇と、Cu 他数種類の元素が実験後見出されたと報告していた。今回の発表ではゼオライトのデザインなどの話に止まり、実験の進展はなかったように見受けられる。

(1-c) ICCF17 以来、著しい過剰熱を発生したと発表しているのが F. Celani (INFN) のコンスタンタン線(熱電対材料)への水素吸収実験である。この“Celani's wire”については今までに MFMP の Valat が ICCF18 で肯定的な結果を、SKINR の A. El-Boher らは ICCF19 で否定的な結論を出している。今回の発表[1A9]は、過剰熱発現の再現性の改善について報告した。再現性は微量の Fe や Fe-K-Mn を表面層に添加した時や、ワイヤをホウケイ酸ガラスで被覆した時などに向上し、5W の過剰熱が COP=1.1 で得られているとした。また、D₂ 吸収実験後、近くに置いた ²³²Th 線源からの γ 線強度が減少したと言うなど、何やら錬金術的なニュアンスが感じられるようになってきた。

(1-d) その他:

F. Tanzella (SRI International) [2A83] は、Ni-H₂O 系電気分解システムのために R. Godes らが開発した“Controlled Electron Capture (CEC)”法と呼ぶパラメータ制御法を、より高温耐性、高速時間応答に改良してガス系に適用した。250 $^{\circ}$ C 程度の昇温時に、過剰熱 COP として 1.04~1.43 を得たとしている。

M. A. Halem (LENR Invest LLC) [2A32] は、Brillouin Energy Corp.が製品化しようとしている H₂-Ni 系の“Hydrogen Hot Tube (HHT)”の再現実験を行い、12~20W の過剰熱を 18~24 時間にわたって観測したとしている。

T. Itoh (ELPH) [2A40] は、Mizuno 型装置による水素吸蔵発熱実験の結果を発表した。In-situ に放電加工して表面修飾した Ni/Pd 箔-Pd 線体系に 100~300Pa の D₂ ガス中で 7W の加熱電力を供給して 700K の温度 (581K のコントロール試料によるリファレンス温度に対して 120K の過剰温度)を観測したとしている。

(2) 液相での D/H 吸収: 電気分解の進展

J. P. Biberian (Aix-Marseille U.) [9A6] は、ICCF6 で大きい過剰熱発生が報告されたものの IMRA Europe 閉鎖以後中断されていた ICARUS9 を用いた電気分解実験を再開した。現在のところ過剰熱はない。これに加えて表題にも要旨集にもなかった固相電解(プロトン伝導体)の実験結果を発表した。(重)水素中で LaAlO_3 に電流を流して温度上昇を測定し、 D_2 の場合のみ過剰熱が観測された。試料が割れ易いことが問題で、パウダに変更することを考えている。

M. H. Miles (U. La Verne) [9A53] は Fleischmann-Pons の isoperibolic calorimetry を見直し、今まで最も高精度 $\pm 0.01\%$ ($\pm 0.1\text{mW}$) の性能を持つと評価した。

D. J. Nagel (GWU) [9A58] は、軽水電解液として Li、Na、K、Pb の炭酸塩水溶液を用いて、Pt 陽極 Ni 陰極の軽水電気分解の系統的实验を行っている。計測・診断法としてインピーダンススペクトル分析、音響スペクトル分析、光学的スペクトル分析、RF スペクトル分析、そして[pA59]でも紹介している電解電流のノイズスペクトル分析を行っている。今のところ過剰熱は観測されていない。

W. S. Zhang (Chinese Academy of Sci.) [9A92] は $\text{Pd}|\text{D}_2\text{O}+\text{D}_2\text{SO}_4$ 閉システムを用いてセル温度や陰極前処理の効果を調べ、33 サンプルによる 294 ランのうち 73% に過剰熱が見られた。過剰熱の発現と電解電流密度や D/Pd との相関は低く、電極表面状態の影響が大きいと述べた。そして電極の SEM-EDS 分析(走査電子顕微鏡-エネルギー分散 X 線分光分析)を行って、電解後 Ag などの元素が検出されたとしている。

O. Azizi (SKINR) [pA2] は $\text{Pd}|\text{LiOH}/\text{LiOD}$ 電解液に ppb オーダの Hg を添加することにより、水素負荷率(H/Pd, D/Pd)の上昇速度と飽和値を大きく増加させ得ることを見出した。Hg 添加は Volmer 過程と Tafel 過程の両方を通じて水素の再結合離脱を抑制し、負荷率を上昇させていると解析している。

(3) 核変換

長年三菱重工で行われてきた D_2 の Pd/CaO 多重層薄膜透過による添加 ^{133}Cs の ^{141}Pr への核変換は、当然 ELPH でも引き続き行われている。今まで質量分析法として誘導結合プラズマ-質量分析(ICP-MS)が用いられてきたが、この手法では分子質量を測定している可能性を否定できない。J. Kasagi (ELPH) [7A43] は、原子核の質量を測定するために、東北大 CYRIC の AVF サイクロトロン 128MeV - ^{40}Ar ビームを用いて行った RBS(ラザフォード後方散乱分光)の結果を報告した。ICP-MS との定量的な一致は必ずしも良くないものの、Pd 中に 100ppm 未満存在する $^{194-198}\text{Pt}$ 等によるバックグラウンドプラトーから ^{141}Pr を分離して同定できると報告した。T. Itoh (ELPH) [pA39] は今回、Pd、Zr、そして Se をドーブした Pd/CaO 多重層薄膜を試供した。Pd ドーブ試料については、ICP-MS スペクトルに質量数 114 のピークが 2 桁増加し、 $^{106}\text{Pd}+4^2\text{d}\rightarrow^{114}\text{Sn}$ の核変換と考えて矛盾はないと報じた。

M. Srinivasan (BARC) は次の 2 件をまとめて代理発表した。一つは K. P. Rajeev (Indian Inst. of Technol. Kanpur) [7A66] の、 $\text{K}_2\text{CO}_3/\text{H}_2\text{O}$ 電気分解システムにおける陰極 Ni の EDS 分析と

TOF-SIMS 分析(飛行時間型二次イオン質量分析)である。前者では Fe、Cu (~20%)、Rh (~10%)、Zr、Pb (~1%)の電解前には見られなかった元素が、後者では Si、Mg、Mn、Zn、Rh が検出され、天然同位体比 68:26:3.6 の ^{58}Ni : ^{60}Ni : ^{62}Ni 同位体比が 75:22:3.1 に変化したと報じている。2 件目は C. R. Narayanaswamy (Silcal Metallurgic Ltd.)の SiO_2 ・木材・廃棄鋼材の水中アーク溶解プラントにおける Si と Fe の過剰生成に関するエネルギー収支である。物質収支を計算すると 1 日当たり 3ton の Si と 1ton の Fe が過剰に生成されている。それを $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}\rightarrow^{28}\text{Si}$ 反応と $2^{12}\text{C}+2^{16}\text{O}\rightarrow^{56}\text{Fe}$ によるとする非定量的推論を述べた。

V. Vysotskii (Kiev National Shevchenko U.)らは、十数年来生物学的核変換を唱え、半減期 30 年の ^{137}Cs を添加したメタン生成細菌培養液の放射能が約 1 年の時定数(寿命)で減少するという一見比較的きれいな実験結果を示し、 $^{137}\text{Cs}\rightarrow^{138}\text{Ba}$ の核変換を主張していた。今回[7A91]では、安定同位体→安定同位体への核変換を原子吸光分光法(AAS)と ICP-AES(発光分析)で、また不安定同位体→安定同位体への変換を NaI シンチレーションカウンタで調べた。共に $^{133}\text{CsNO}_3$ または $^{137}\text{CsNO}_3$ 水溶液と水溶性栄養物を含む培養液を用いた。前者では ^{133}Cs が 192 時間で 56% も減少し、後者では 12 日間で 22%~70%もの計数率の減少を観測したという。

G. Egely (Egely Ltd.) [pA16]は、“nano dust fusion”と名付けた方法で天然ウランのガンマ線を減少させたと報じた。天然ウランを微細粉末にして炭素粉末と混ぜ、1kW レベルのマイクロ波生成プラズマ中に 3~4 分入れるだけで、酸化鉛などの重金属を混入させればより効果は大きいという。

(4) 反応断面積/遮蔽ポテンシャル測定

そもそも常温核融合あるいは凝集系核科学(CMNS)の分野における物理的最大の関心事は、過剰熱または発熱が核反応起源のものであるとすれば、いかなる物理機構が働いて MeV 規模のクーロン障壁が克服されているかということである。固体中では電子によって原子核電場はある程度遮蔽される。原子核電場の遮蔽はその周りの電子の存在によってあるポテンシャル U_s だけ下がると考えて、ビーム-ターゲット核反応断面積における入射粒子のエネルギー E を実効エネルギー $(E+U_s)$ に置き換えて取り扱うのが通例である。以前から日、独、波蘭の数機関で、keV 領域の d+d 衝突核反応断面積を測定して固体・液体中の遮蔽ポテンシャル U_s を求める実験が行われ、多くのデータが蓄積されている。

低エネルギーではビーム生成の比較的容易さのために D_2^+ や D_3^+ ビームが用いられる場合がある。J. Kasagiら(ELPH)は、ターゲット中で散乱された入射ビーム分子中の D 同士が反応する過程 “Cooperative Colliding Mechanism (CCM)” が寄与していることを指摘している。液体中にはビームとして注入した D 原子は殆ど蓄積せず CCM が観測し易いので、液体ターゲットを用いている。今回、Y. Honda (ELPH) [10A36]は、液体ターゲットの変形を抑制する仕組みと三重水素を検出するための検出器前フィルタの改良を行い、In と Pb の U_s がそれぞれ $(220\pm 110)\text{eV}$ 、 $(290\pm 100)\text{eV}$ に達すること、そしてそれらが Thomas-Fermi ポテンシャルを用いた計算値より相当大きいことを報告した。

K. Czernski (U. Szezecin) [10A12]は、J. Condensed Matter Nucl. Phys.の他 Europhys. Lett. や Phys. Rev.等に掲載された 2000 年代からの研究("D-D threshold resonance"仮説や"dielectric function theory"、超高真空ビーム照射実験装置を用いた実験結果のそれらとの比較)を前置きし、最近の実験結果を示した。6keVまでの p を Zr ターゲットに照射し、 $D(d,n)/D(d,p)$ 反応分岐比が衝突エネルギーの増加関数であり、 U_s が 110eV であることや、"threshold resonance"の寄与により ^4He 生成量が増加していること、そしてそれらのために、室温での核融合反応確率が 7 桁増加することを結論とした。

(5) プラズマ、超音波照射

プラズマ中や超音波照射によるキャビテーション内での比較的高エネルギー粒子衝突を用いたものが数件あった。

M. Fomitchev-Zamilov (Quantum Potential Corp.) [5A19]は、1922 年に行われた Wendt-Irion の細線爆破プラズマからの ^4He 放出の再現実験を行った。直径 35 μm -長さ 4cm の W 細線を 24kV-1.3 μF のキャパシタ放電(7 μs)でプラズマ化した。残留ガスの 1-10%に及ぶ He ガスを検出したとしているが、He はパイレックスガラス中のボロンとの $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ 反応でされたとし、その中性子は陽子の電子捕獲と仮説している。1922 年の W-I 実験が今まで再現されなかった理由は放電容器にクォーツが使われたからだと言っている。

Z. Tian (Xiamen U.) [pA85]は、Ni 電極を用いた 0.2MPa の H_2 アーク放電で、20W(入力 14%)の過剰熱を得たとしている。

K. Naitoh (Waseda U.) [10A62]は、炭化水素ガス燃料を用いた"super-multi jet"を衝突させて 60MPa-2,000K という高温高压のジェットを形成し推進力を得るというプロトタイプエンジンを紹介した。そして将来、収束点にナノ粒子を供給して安定な常温核融合エンジンを実現するという夢を語った。

K. Tanabe (Kyoto U.) [10A82]は、半導体レーザーや YAG レーザを球状金属ナノ粒子に照射したときに"Plasmonic field enhancement"による 10~1000 倍の照射エネルギー増倍が期待されることを計算により示した。これを慣性核融合ターゲットのみならず常温核融合にも利用できることを提案している。

R. S. Stringham (First Gate Energies)は長年、超音波照射により生成されたバブルの崩壊時に高温高压が得られることを利用して核融合反応をトリガする実験を行っている。今回は[5A78]で、 D_2O 容器の底部に MHz で励起されるピエゾ素子とそれにより発生するバブルのターゲットとして Pd 薄膜を置き、ガス質量分析で 4×10^{12} 個の ^4He を検出したとしている。

H. Soyama (Tohoku U.) [5A75]は、同様のバブル生成にレーザー照射により生成されたキャビテーションを利用することを提案している。いずれにしても高温核融合の範疇に属すると思われる。

(6) その他、新方式、応用

M. Swartz (Nanortech Inc.)と P. Hagelstein (MIT)らが開発した NANOR[®]は、 ZrO_2 マトリックス中

に Pd、PdNi、又は Ni のナノ領域をつくったもので、D 又は H を負荷する過程と電流を流すことによる熱発生過程を分離しているという利点が強調されているものの、両過程とも詳細は明らかにされていない。100mW のレベルながら再現性良く過剰熱が発生するとしている。今回[3A79] (Hagelstein 代理発表)、NANOR[®]で用いた試料 PdD/ZrO₂に 532nm と 635nm のコヒーレントデュアルビームを照射したとき、反射光が過剰熱の有無と相関のある情報を含んでいることを見出した。即ち、アンチストークス線とストークス線の強度比(aS/S)が過剰熱発生試料については大きい(aS/S→1)が、非発生試料においては aS/S≪1 ということである。この現象が、過剰熱発現のための材料科学的必要条件の解明に寄与することが期待される。

Hagelstein らは彼自身の“Phonon-nuclear coupling model”を証明するために、電極に 1-3MHz 帯域の振動を与えて放射線(n, X, γ)を検出する体系を整備中であることを F. Metzler (MIT) [5A29]のプレゼン(Hagelstein 代理発表)で述べた。

手法や周波数帯域は異なるが、同様に振動によって核反応をトリガしようとする試みは他にも V. Dubinko (Kharkov Inst. of Phys. & Technol.) [pA13]や、V. I. Vysotskii (Kiev National Shevchenko U.) [pA86]に見られる。

S. Bok (U. Mizzouri) [3A7]は、カロリメトリでは測定できない電極表面温度分布を測定する手法を開発した。LiOD 電気分解で D を予備負荷した Pd 陰極表面に感温色素(ローダミン 6G)とポリメチルシルセスキオキサンの混合物をスピンコーティングして、D 再結合脱離時の温度分布を μm の分解能で実測し、有用性を実証した。

J. He (SKINR) [12A37]は、新しい診断法として時間微分ガンマ線摂動角相関(TDPAC)を LiOH/LiOD 電気分解陰極の欠陥診断に応用した。D 負荷の場合、H 負荷の場合に比べて欠陥が発生しやすいことを反映したスペクトル変化が見られ、有用な診断法であると結論した。

(B) 理論の進展

この分野の理論は、固体内核融合や核変換を説明するため、少しずつ進化している。特に ICCF20 においては、相対論的量子力学を記述する Dirac 方程式に基礎を置く理論が新しく感じられた。これらの理論は、まだ発展途上であると思われるが、未知の現象である、固体内核反応を、従来から存在する理論と矛盾なく説明するためのきっかけとなることも期待される。そこで、ここでは、以下 2 件に絞り、報告を行う。

P. Hagelstein [A30]らは、多体問題における Dirac ハミルトニアンから出発し、重心座標と内部自由度の結合を使って、直接的にいくつかの量子力学的複合体に関するモデルを示した。よく知られているように、自由空間内では、重心座標と内部自由度の結合はなく、両者は分離される。しかし、凝集系内においてそれらは結合している。それを踏まえて、彼らは、理論を組み立てている。また、Dirac ハミルトニアンから出発することにより、相対論的効果を内包した

理論となっている。

これらにより、固体内の環境において、様々な複合体が、ある振動状態から、別の状態に遷移する過程を表現することができるようになった。これは、固体内核反応を相対論的に取り扱い、今まで、厳密に考慮されていなかった多体効果を踏まえて、取り扱うことができるようになったことを意味する。Hagelstein は、今までこの分野の理論的研究をリードしてきたが、ここに至ってより洗練された理論体系となった観がある。

今後、ここで定義されたモデルに関して Dirac 方程式の解が求まれば、固体内での核融合や核変換が、理論的に解明される手がかりが得られる可能性がある。この方向で、多くの研究者が研究を進めることに期待したい。

F.Celani [A8]らは、ultra-dense deuterium (UDD)の低エネルギー核反応について Zitterbewegung (Zbw)運動の立場から、理論を展開した。彼らは、Maxwell の方程式と Dirac の方程式を同時に用いて、UDD におけるイオン間の相互作用の記述を試みている。

Zbw 運動とは、電子が Compton 波長 2.4pm 程度の半径の円周上を、光速度で回転する運動のことで、Dirac 方程式の解である正のエネルギー状態と負のエネルギー状態の干渉によって起こると考えられている。この運動が、核間距離 2.3pm 程度の UDD の中で、強い Coulomb 斥力とキャンセルする力をもたらすと Celani らは考えており、大変興味深い。

Zbw のこの分野への導入は意外なことではあったが、これにより、Coulomb 障壁の克服問題が解決されることを期待したい。

(C) 次回 ICCF21 他

木曜日に行われた Conference Banquet では、最近 ICCF の機会に発表・贈与されるのが恒例になった Preparata Medal が ELPH 笠木教授に贈られた。そして次回 ICCF21 は、Industrial Heat LLC の支援の下、2018 年 6 月に米国で開催予定であるとアナウンスされた。