

新エネルギー創生研究プロジェクト

特 別 報 告

高温学会は、平成16年4月に解散した財団法人岡田記念溶接振興会が対象としていた新エネルギー創生を含む高エネルギー工学の事業を引継ぎ、同財団の運営財産を当会の特別会計として「新エネルギー創生」の研究を荒田吉明会長を中心とするグループで続行してまいりました。

この研究は、今後の発展が大いに期待されているところから、これを機にこれまでの経過及び研究成果をまとめて特別報告として報告いたします。

なお、詳細な研究報告については、論文としてまとめ高温学会誌に投稿される予定であります。



社団
法人

高温学会

序 1

荒田吉明先生は大阪大学名誉教授であり、日本学士院会員です。このたび荒田先生が12月7日に開催された高温学会理事会で、世界で初めて人類60億年のエネルギー源とされている「固体核融合」の実用炉を達成されたことを実験データで提示のうえ、報告されました。この成果に理事会では感嘆の声につつまれました。それで荒田先生がこれまで過去50年間を通じ、また退官以来20年間、固体核融合のみに集中され、遂に先日その核融合炉を達成されたことを知り、ここに荒田先生の「研究人生」をご紹介しますことにした次第です。

平成19年(2007)12月7日

高温学会理事会

序 2

本書は先日(平成19年11月26日)、大阪大学「接合科学研究所」35周年記念祝賀会の折、「乾杯の辞」として読み上げた文章であり、全国共同利用「溶接工学研究所創設過程」並びにこれと連動して「私の研究人生」をも述べさせて頂いたものです。その研究人生の中核は常に「核融合」であり、55年一貫して現在も尚続いております。そして50年前、世界で初めて提案した“固体核融合”(Solid state plasma fusion; simply "Solid Fusion")の実用炉の達成を2ヶ月前に漸く果たすことが出来ました。本書は高温学会理事会で出版を許可されたので、ここに簡単に述べさせて頂きました。ご瞥見頂ければ幸いです。

平成19年(2007)12月12日

荒 田 吉 明

研 究 人 生

私はご紹介頂いた荒田でございます。私の退官は昭和 63 年つまり平成マイナス 1 年ですから、今年、平成 19 年で丁度 20 年前の退官です。丁度阪大の「イノベーションセンター」の前身がスタートしたときで、すぐそこに入り、20 年間「固体核融合」のみに、どこからも金銭的支持なく、個人的戦いをしてきたわけです。現役でなくなると、落ちた「枯れ葉」と同じです。私は退官して研究所の「玄関」を出るとき、公用以外は私用ではこの中に入らないと決意し、あとはすべて現役を信じ、期待して出て行ったものですが、当時溶接工学研究所が、「接合科学研究所」に改名されたことも知らなかった状態でしたので、またここにご出席の皆様方も、私の顔や立場をご存知ない方も多いのではと思い、「乾杯の音頭をとれ」と命ぜられても失礼にならないかと迷っておりました。しかし研究所 35 周年と聞き、「溶接工学研究所」も含んでいることが分かりお引き受けした次第です。私はいつも「原点」を大切に思う男ですから、それでは「研究所の原点」を少しご紹介しようと思ったのですが、時間がないので「乾杯」の折、「数分間ぐらい」ならと言うことでありました。そこで時間が伸びては、ご迷惑をかけるのではないかとの思いで、この原稿を書いて読むことにすれば、確実に「時間厳守」が出来るのではと考えた次第です。

それでは「接合研究所」の原点となった「溶接研究所」の成立過程について数分間程度でご紹介させていただきます。丁度 50 年前の昭和 33 年、私が助教授なりたての 33 歳のとき、私は「熱核融合」と「固体核融合」(当時、私は英語で Solid state plasma fusion, 現在は簡単に "Solid fusion" と命名) の 2 種類の「核融合」をスタートさせました。「熱核融合」では数百万アンペア・数百万度の温度を発生し、日本では初めて、「公開実験」に成功しましたが、残念ながらこの 2 ヶ月前にロシアが熱核融合放電現象の成果を公表し、これがノーベル賞になったわけです。しかし温度、電流は私どもの方が大きく、この記録はまだ破られていません。この成果が当時どの新聞も第一面で大きく報道され、私は一躍有名になりすぎ、ジェラシー台風に吹き飛ばされ、僅かの入院中に装置は分解され、実験を共にした学部・大学院の学生・研究生は分散され、私一人ポツン状態にされ、このポツン状態が 6 年間続きました。そして、その期間中、大学には講義だけに行き、直ちに帰宅し、今後の新しい学問は何か? と朝から朝まで全力を集中し、世界で始めて「プラズマ工学」、「高温工学」、「溶射工学」を確立し、本として多量に出版され、これがベースとなり、後に私が開拓し、命名した「ハイテク加工」を展開することになり、世界の社会構造さえ変えた原点となりました。この証拠は多数あり、

たとえば文化勲章受賞祝賀会出版書に詳しい。そしてこの新しい学問の確立が評価され、「溶接物理学」講座が開設され、私がこれを「担当」することになり、私は「核融合」に再度チャレンジを考えました。しかし6年前の私の“核融合研究を遮断”した当時の“ボス”の方々のお一人でまだ100歳でご存命されている伏見康治先生が「核融合のような大きな国家的問題」は大阪のような地方ではなく、日本の重心地域つまり「名古屋近傍に設置すべきだ」と宣伝され、名古屋大学に「プラズマ研究所」が設置され、先生がその初代所長になられたわけです。

このような状況下では教授になったからといって、ポツン状態のもとですぐチャレンジ出来る状態ではありませんでした。しかし丁度そのとき一筋の光が見えました。恩師の岡田實先生が第八代の阪大総長になられたわけです。これは天運でした。ただちに先生に私の気持ちを伝えました。先生は工学系ではまだ全国共同利用研究所がない。それが出来れば、そこで「核融合」の研究は可能となる。それにはまず工学部に「溶接工学研究施設」を作れ！頑張れ！と激励を受けました。そこで「溶接工学科の総力」をあげて、まずこの「研究施設」を昭和44年に作り、3年後の昭和47年、全国共同利用「溶接工学研究所」が工学関係では初めて設立されました。このときの感動は忘れることはありません。私は岡田先生のご指摘のように、研究所の第一部門を「熱源」として担当し、溶接熱源と核融合熱源は技術的には全く同じあると主張し、文部省にも30億円申請し、両方に役立つことを考え、1メートル厚さの金属も貫通する「世界最強の電子ビーム熱源装置」を開拓し、これを設置した「超高エネルギー密度熱源センター」を作ることになりましたが、残念ながら核融合関係は削られてしまいました。今日でもイーター方式よりは、「ガストンネル」を有するこのときの方式の方が熱核融合装置としてすぐれていると思っています。そして11年間、所長として研究所発展に少しは貢献出来たと思い、満足しながら、昭和63年退官し、さらなる発展を現役の諸君に託した次第です。そして退官と同時に30年前、つまり現在から言えば50年前にスタートした「固体核融合」を再び取り上げ、現在まで20年間これだけを“生きがい”として専念したわけです。退官以来発表した論文数も60編を越えております。そして世界で独走状態となり、世界はほぼ数年遅れながら私を追いかけております。

そして遂に「固体核融合」の実用炉を2ヶ月程前に達成しました。装置は極めて簡単で、ステンレス円筒の中に最新の固体サンプルを置き、この円筒の中に新しく発想した100%高純度の重水素を注入するだけで「熱エネルギー」が瞬間に多量に発生し、そのガスの中には ${}^4_2\text{He}$ 、さらに一桁程度多量の ${}^4_2\text{He}$ がサンプル内部に発生していることが分析、確認できました。このとき、外部からの入熱は全く与えておりません。そして全く無公害です。「天佑神

助」と言いますか、20年目、いや50年目にして、ようやく私の「人生のどたん場」で遂にゴールに到達したと感動した次第です。公開実験は春頃がよいのではと考えています。

一昨日、阪大イノベーションセンターの特任教授から、友人が若いときヨーロッパやロシアなどに留学、その後もそこで活躍し、ソ連の高官やプーチンと交流もあり、話の中で Prof. Arata が Pd に困っている様子だから、10Kg の Pd を進呈すると言う伝言があり驚いているところです。

私は個人ではだめで、政府を通してくれるならば頂いても良いと話しておきました。日本政府は私の固体核融合について殆んど無関心であると思いますが、外国のトップが私にプレゼントとするということで驚いているところです。私は「落ちた枯れ葉」と同じ立場ですので、大学本部にも、政府にも何も申請することさえ出来ません。あとは現役の方々にお願いするしかございません。皆様のご支援がなければ研究所などは出来ません。あるいは外国に100億円ぐらいで売り飛ばすかですね。これはジョークでした。大変失礼しました。

研究所設立の過程及び失礼ながら私自身の関与の過程などを申し上げ、このたびの祝賀会の乾杯の辞とさせて頂き、乾杯のご唱和を頂ければ幸いです。

乾 杯！

~~~~~

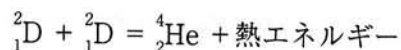
[注 1] 世界最初の「固体核融合」実用炉の実験特性を以下に提示します。

[注 2] 尚本研究は 20 年間、張月嫦博士（元大阪大学客員教授）と共同研究を続け、更に最近王曉峰博士が研究に参加しています。また加工など技術的には大村彰氏、浦崎敦氏、熱心な協力があります。

## 「固体核融合実用炉」の特性

Fig. A は固体核融合の「実用炉」原理図である。反応容器はステンレス容器であり、その中にサンプル合金を設置し、超高真空状態にする。そこに  $D_2$  ガスを導入 ( $D_2$ -ジェット流) すると、その流れは "D-ジェット流" として、直接サンプル内に流入し、そのまま核融合反応を形成する。

次に、Fig. 1 は実用炉の原理図である。核燃料は高純度 ( $\approx 100\%$ )  $D_2$  ガスであり、図中 4 に示した。図中 2 は反応容器でステンレス製である。試料 1 はこの高真空容器内に設置されている。その内部温度  $T_{in}$  はこの試料の中心軸上内部に設置された熱電対によって測定される。ステンレス容器の温度  $T_s$  は、その外壁に設置された熱電対により測定される。 $D_2$  ガス発生器 4 と反応容器 2 及び真空ポンプ 7 はステンレスパイプ 3 で連結され、それぞれ途中で 5、6 のバルブが連結され、制御器 8 で開閉が可能となっている。本装置の特徴は、容器 2 の内部に  $D_2$  ガスが送給されると、この  $D_2$  ガスは容器内にとどまらず、直接試料内部に "D-jet 流" として侵入し、内部でそのまま直ちに "固体内核融合反応" として



となり、 ${}^4_2He$  と熱エネルギー (核融合反応熱と重水素の固体内部への流入による化学反応熱) にのみに転化する。換言すればこの反応期間中容器 2 は " ${}^4_2He$  創成炉" と化し、同時に "熱エネルギー発生炉" となっているのである。理想的な実用炉であることが分かる。

まず、試料が「 $ZrO_2 \cdot Pd$ 」合金では、Fig. 2 に示すように、 $D_2$  ガス導入と同時に "ナノ Pd 粒子内部" で急速に核融合反応が発生し、熱エネルギーが出現する (これと同時に重水素の流入による化学反応熱も添加する)。そして核融合反応の終了と同時に発熱はストップする。そしてこの発熱期間中炉内の「ガス圧」はゼロであり、 $D_2$  ガスは炉内にとどまることなく、すべて試料固体内部に流入する。即ち重水素はジェット噴流 ("D-jet stream") として突入し、固体内に形成されている無数の "電子箱" (electron box) の中に侵入、それぞれ「2 - 4 個」の重水素イオンとして凝結し、無数の "凝結体" (Clumpy Solid-state deuteron, 簡単に "Solid-deuteron") が形成され、これが "核燃料" として機能する。この凝結体の重水素密度は大気圧下での重水素がほぼ一億気圧程度に圧縮された密度に相当していると考えられる。そしてその反応終了直後から  $D_2$  ガスは反応炉内に蓄積され、圧力 ( $P_{in}$ ) として時間とともに増圧する。つまり反応期間中は  $P_{in} = 0$  である。

これは考えられないほど、つまり予測出来ないほど決定的であり、想像を絶する新現象である。この新現象は、Fig. 3 のように異なった活性化バルク試料 ( $Zr_3NiO$  のようなバルク合金) でも Pd 単独の「ナノ粒子」の 2 倍程度多く吸収して、全く同じ共通現象が発生しており、



これは「歴史的現象」として結論される。

次に、Fig. 5 は "Skirt-Fusion" zone における反応容器内でのガス温度 ( $T_{in}$ ) と容器自身の温度 ( $T_s$ ) 及びその差異 ( $\Delta T$ ) について、経過時間 (Time[min]) との関係を示したものである。水素ガスの場合、反応エネルギーは化学反応エネルギーのみであるから、反応停止とともに  $T_{in}$ 、 $T_s$  は急速に降下し、短時間に温度差はなくなり  $\Delta T=0$  となり、一本の直線として室温まで経過する。しかし、ナノ Pd 及び活性バルク  $Zr_3NiO$  の場合はいずれも、固体内部での核融合反応が共に長時間続く (実験は約 50 時間、しかし実際は 100 時間以上続くと考えられる)。これらはほぼ同率で続いてと考えられる。そこで実験範囲内での熱エネルギーはともに約 180kJ となり、 ${}^4_2He$  の発生量はほぼ  $5 \times 10^{17}$  個であった。

もし "Skirt-Fusion" zone が実用化されると極めて長時間のエネルギーを発生するとともに多量の  ${}^4_2He$  の発生があり、Pd 1 ton を使用した合金では、約 250kg の水を 500℃ に加熱可能となり、実用化される可能性がある。Pd は連続使用しても消耗しない。

この新現象の理解を更に深めるために、容器内に試料を設置しない場合、つまり容器のみの  $D_2$  ガス圧力特性を Fig. 6 に示した。この場合  $D_2$  ガスを容器内に導入したとき、赤線ですぐに圧力上昇はスタートし、時間とともにその圧力 ( $P_{in}$ ) は上昇する。そして  $T_{in}$  (容器内温度)、 $T_s$  (容器温度) は室温の  $D_2$  ガス導入によって全く影響を受けないで、変化しない。つまりガス圧  $P_{in}$  を変化させても図示のように  $T_{in}$ 、 $T_s$  は変化なしである。これは、従来の常識であり、この実験と一致する。

この実験事実をベースとして、Fig. 2、Fig. 3 との結果を比較すれば、これは歴史的な実験事実となっていることがよく分かる。

更にこの結論を明確にするために Fig. 7 [C] (ガス内部)、[D] (固体内部) に示すように、特に [D] 固体内部にはガス内部より多量の  ${}^4_2He$  が発生していることが分かる。金属にたいする  ${}^4_2He$  の特性は常温～数百度レベルでは  ${}^4_2He$  は固体の中に入ることも、また内部から外に出ることも出来ないことはよく知られている。この Fig. 7 [C]、[D] の特性は極めて短時間に多量の  ${}^4_2He$  がぎっしり試料の内部に詰め込まれた状況を示している。これは内部での反応の結果であることを明確に示している驚嘆すべき現象である。またガス内部 [C] の中にも重水素が少し含まれている。これはサンプル表面層に存在する“凝結体”での反応生成物が放出されたものであることが容易に理解される。

更に上記結論をもうひとつの決定的実験結果を紹介する。それは重水素と水素の核燃料の立場からの比較である。従来筆者らは、この 20 年を通じ「固体核融合の実証」について、独走的な立場でその成果を示したことはよく知られている。筆者等はこれらの装置を「実証炉」と命名した。つまり一種類だけでなく、数種類の実証炉を次々に開発し、その都度「固体核

融合の実証」を確認し、発表してきた。そのレポートは現在までに 60 編を越えている。たとえば  $D_2O/H_2O$  を使用した世界的にも有名な電気分解型「実証炉」: "DS-Cathode" ("Double Structure Cathode") によれば、 $D_2O/H_2O$  の電解液を使用した場合、つまり Cathode 内部に D/H がそれぞれ発生し、それぞれの固体内核融合反応の有無を精査したことによる比較であり、前者つまり重水素では明確に  $^4_2\text{He}$  と熱エネルギーの発生があり、後者つまり水素では僅かの化学反応熱以外は認められることはなかった。

そこで今回も新しく開発した前記「実用炉」を使用して重水素と水素の核燃料としての立場で比較したわけです。重水素の場合は記述のように、「実証炉」「実用炉」ともに固体内核融合による強い反応（ヘリウム ( $^4_2\text{He}$ ) と熱エネルギー) の発生が認められたが、Fig. 4、Fig. 7 に示したように水素の場合は  $^4_2\text{He}$  の発生は全くなく、化学反応熱のみが発生している。

Fig. 2、3、4 の結果にもとづいてそれぞれの "Skirt-Fusion" zone における長期間の内部ガス温度  $T_{in}$  及び容器温度  $T_s$  との差 ( $\Delta T$ ) の変化状況を Fig. 5 に示した。これはこの  $\Delta T$  が核融合反応の長期連続発生に起因して重要な結果を示しており長期間  $\Delta T$  変化のないことが明確に示されている。これは実用化に必要な重要な結果である。

最後に「実用炉」と「実証炉」の違いは、基本原理は両者同じであるのに抱らず実用炉がはるかに構造が簡単で且つ反応時間が桁違いに短いことである。換言すれば「実用炉」では重水素の流れがサンプル内部に直接極めて短時間に全体に浸透するのにたいし、「実証炉」では重水素が反応容器の「Pd 円筒の壁」を通過する必要があるので、極めて長時間を必要としたということである。

従って結論として、この固体核融合の実用炉は一方では熱エネルギー発生装置であり、他方では  $^4_2\text{He}$  製造装置でもある。イーターのような熱核融合装置がよいか、上記のような固体核融合がよいか、どちらが人類のために重要であるか論を待つ必要はないと考えている。私は 50 年前、公開実験で、現在でさえ世界最高の電流と温度を発生させた記録装置を製作・実験し、日本の熱核融合をスタートさせた立場上、それぞれの機能はよく理解しているので、特にその感を深くしている者である。国家として或いは人間社会としても、早く決断すべきと考えている。単に日本のためだけではなく、人類のためにも大切な事である。

上記固体核融合は家庭、自動車、船、航空機、大型エネルギー源として活用可能と考えている。現在の空気汚染状況を考えると、速やかな対応が望まれる。また、更に新しい学問の展開も可能と考えられる。

最後に「固体核融合」のさらなる飛躍的發展を祈念して擱筆します。



# 「固体核融合」の実用炉

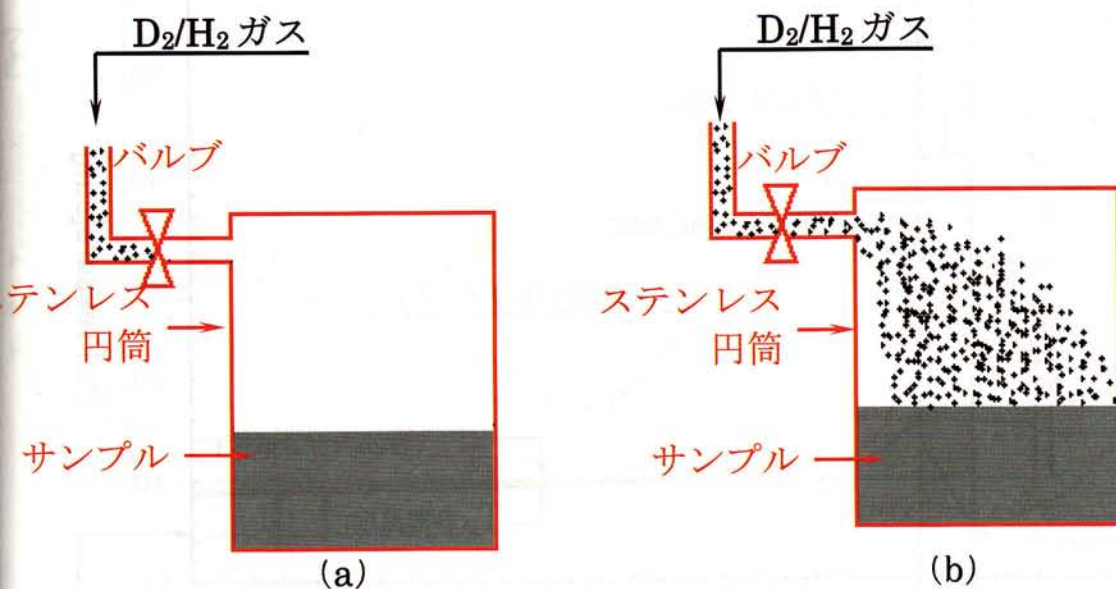


Fig.A 固体核融合「反応容器」原理図

(a) :  $D_2/H_2$  ガス導入前の反応容器 (ステンレス円筒とサンプル)

(b) :  $D_2/H_2$  ガス導入中, 容器内へ  $D_2/H_2$  - "jet stream": そしてサンプル内へ D/H "Jet-stream".

(注)  $D_2/H_2$  ガス導入すれば、 $D_2/H_2$  - "Jet-stream" は直ちにサンプル内部へ D/H - "Jet-stream" として侵入し、前者は直ちに核融合を発生し、 $^4_2\text{He}$  と熱エネルギー、後者は化学反応熱のみを発生する (詳細は  $D_2$  の場合, Fig.2, Fig.3, Fig.6 及び  $H_2$  の場合, Fig.4.)

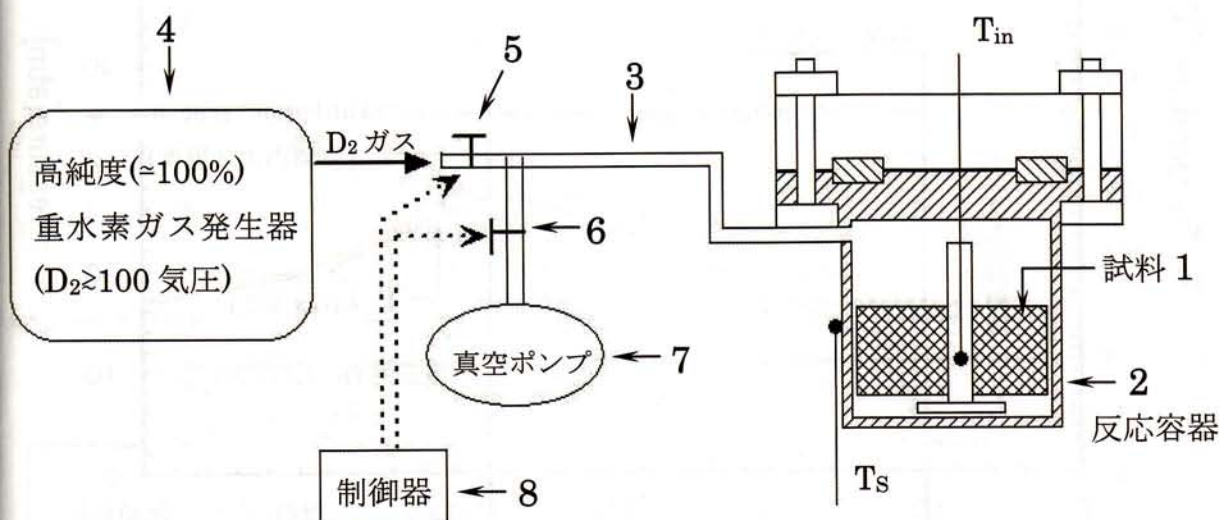


Fig.1 実験装置

反応容器 : Stainless vessel only

核燃料 :  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{Pd}$  合金(7[g])+Pure(100%) $\text{D}_2$

07, 10/31-11/1

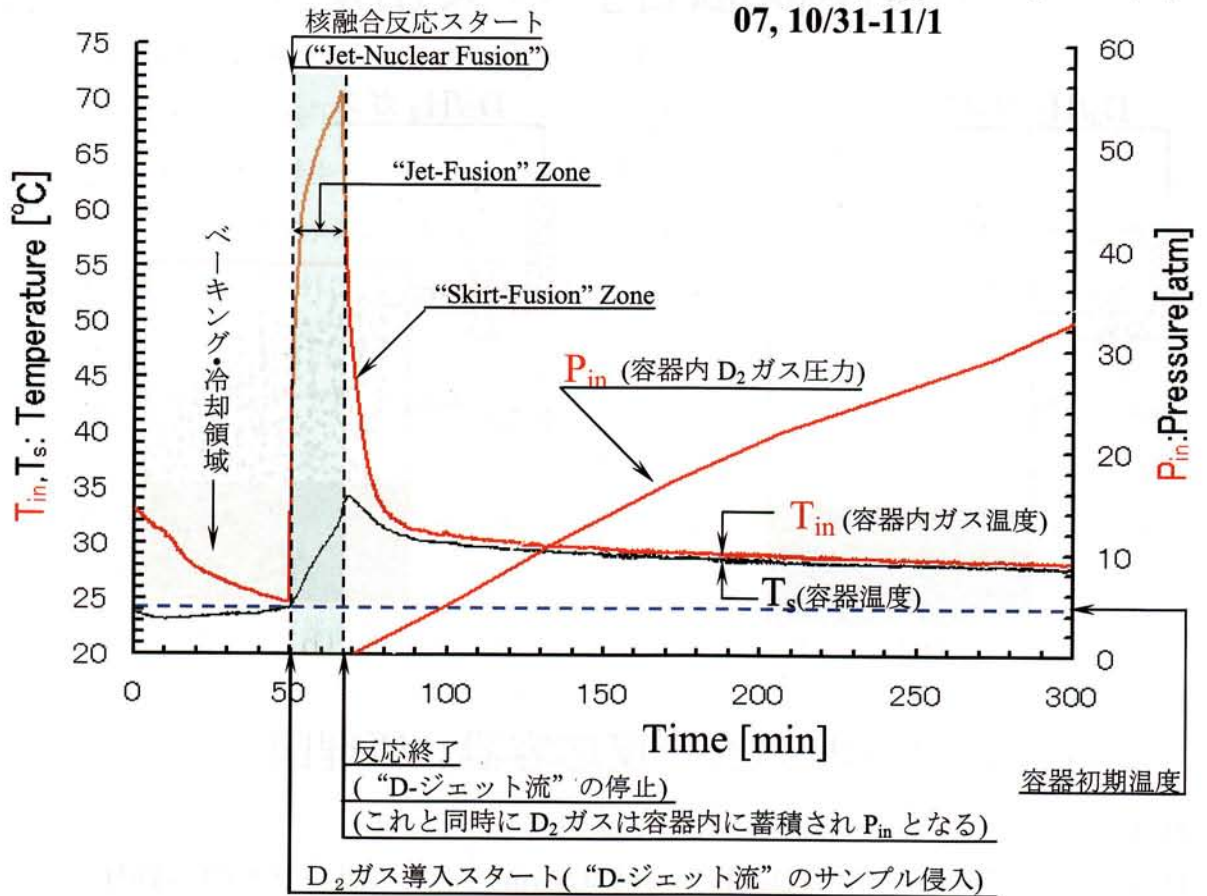


Fig.2 熱エネルギーと  $^4\text{He}$  の同時創成

反応容器 : Stainless vessel only

核燃料 :  $\text{Pd-Zr-Ni}$  合金(18.4[g])+Pure(100%) $\text{D}_2$

07, 11/12-15

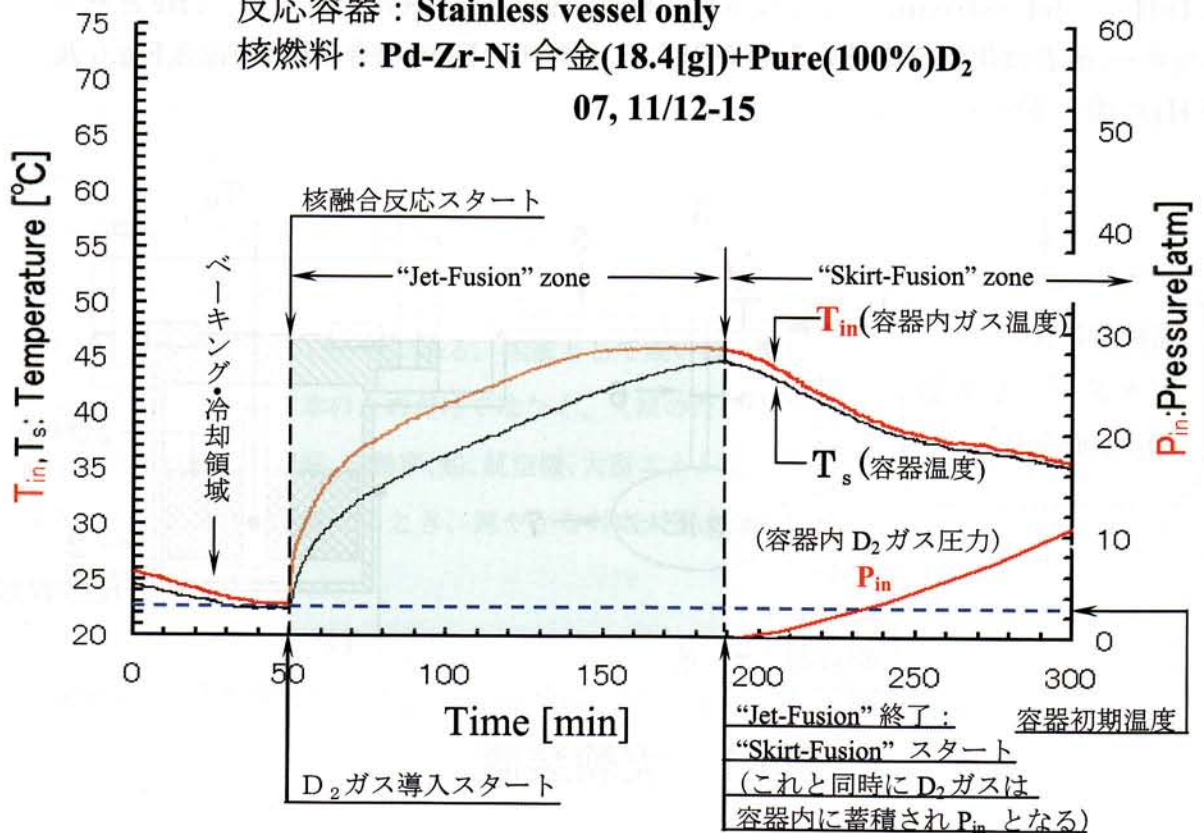


Fig.3 熱エネルギーと  $^4\text{He}$  の同時創成



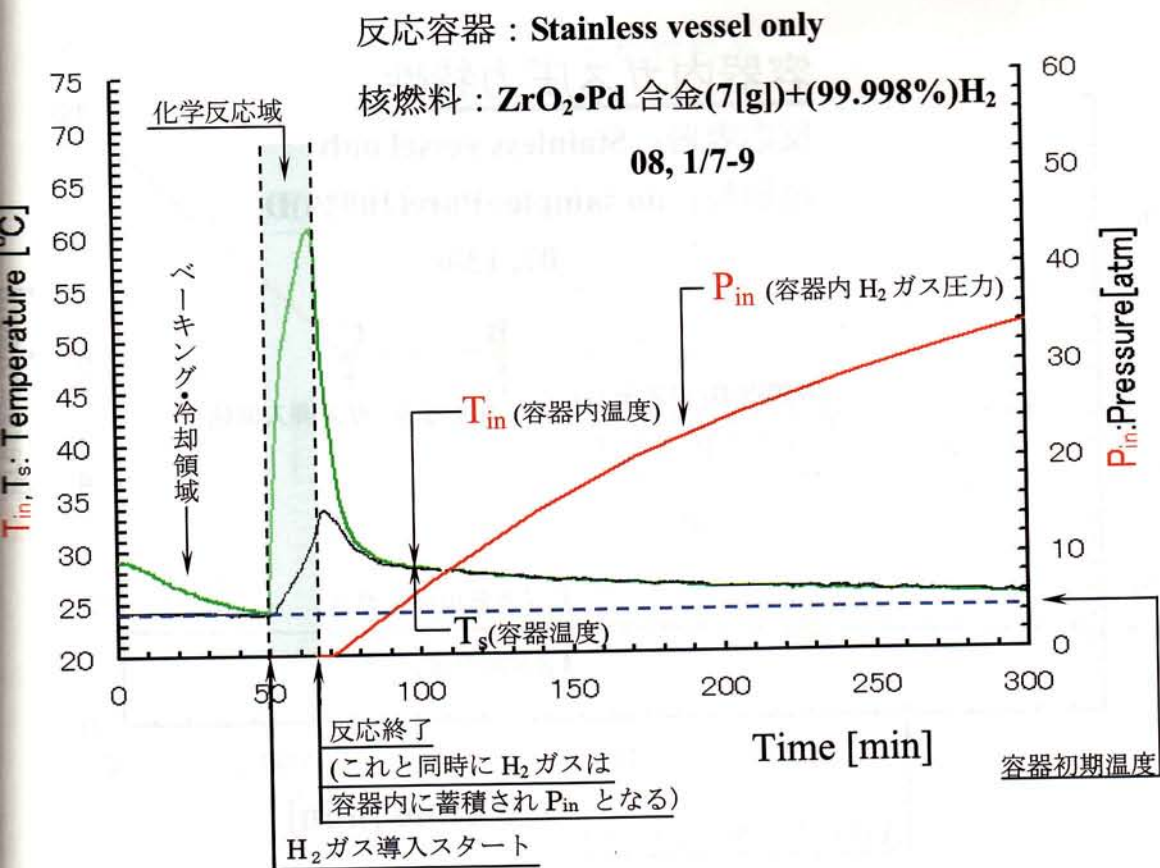


Fig.4  $\text{H}_2$  導入による熱エネルギーの発生

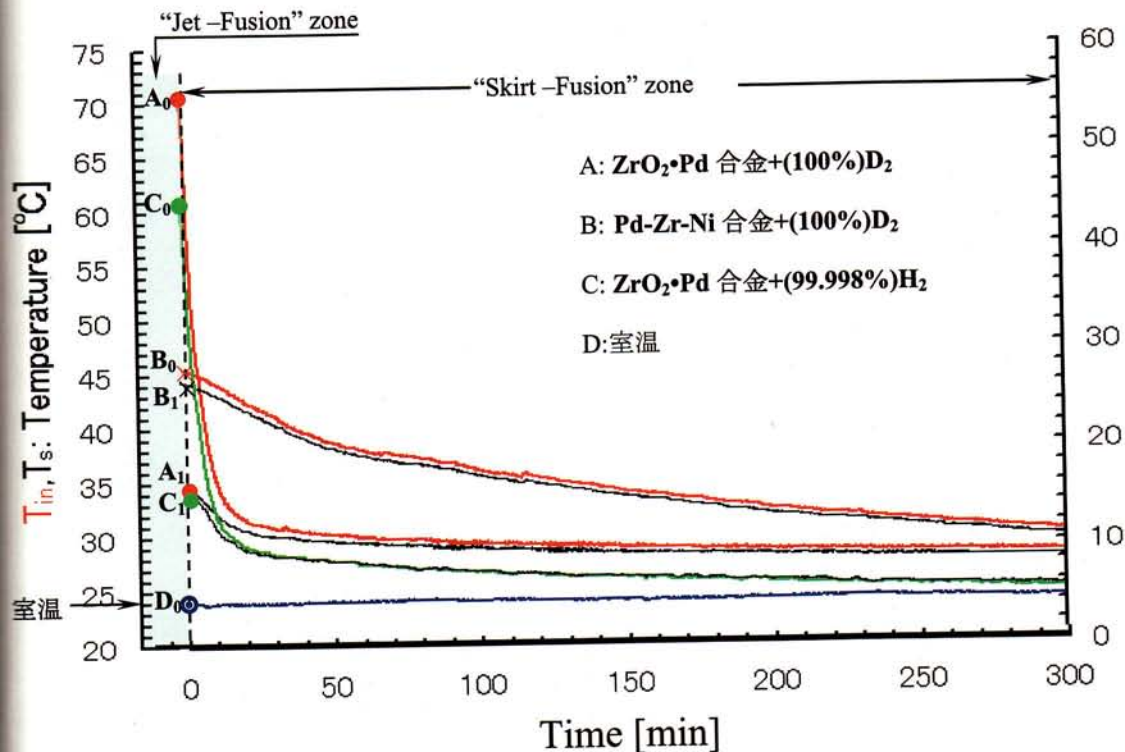


Fig.5 "Skirt-Fusion" zone における各燃料にたいする Nuclear fusion の発生特性の比較

(注) 各燃料 (A, B, C) の "Skirt-Fusion" Zone における反応の出発点として、容器内ガス温度 ( $A_0, B_0, C_0$ ) とし、容器温度 ( $A_1, B_1, C_1$ )、室温を  $D_0$  とする。

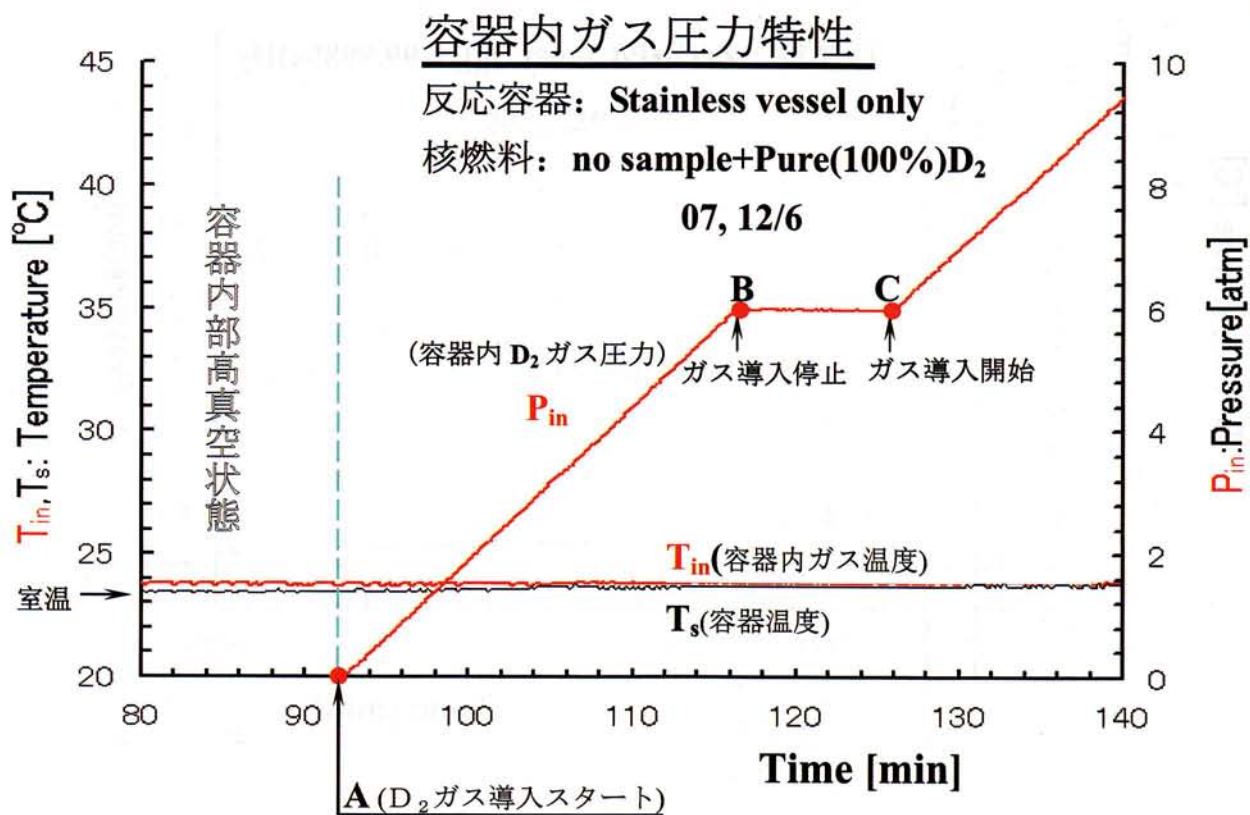


Fig.6 試料なしの反応容器内の D<sub>2</sub> ガス圧力特性



Spectrum intensity,  $I_0 (=10^{-11}[\text{A}])$

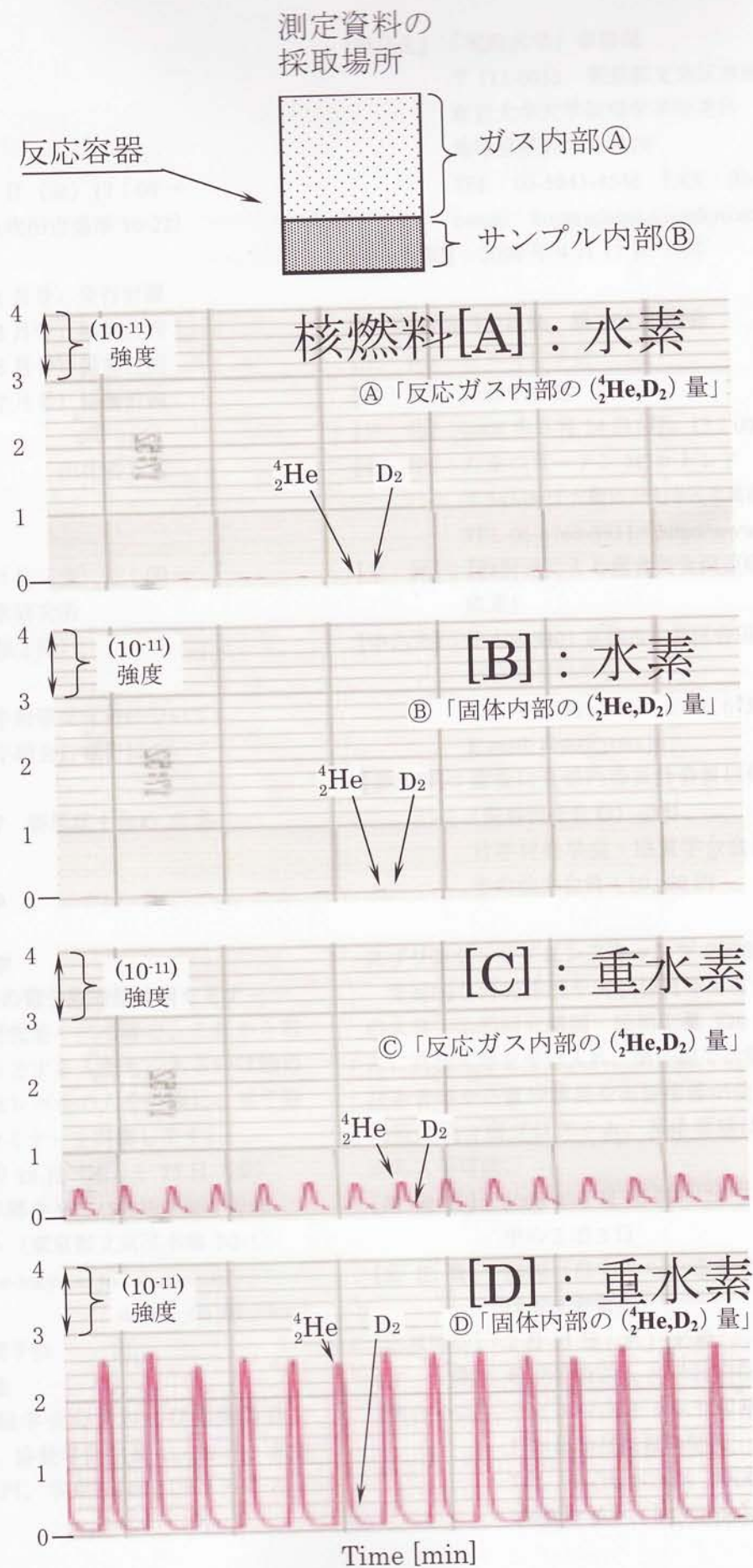


Fig.7 燃料 ( $\text{D}_2$ ) と反応生成物 ( ${}^4_2\text{He}$ ) の質量分析結果