

[A18a06]

TWO PROPOSALS RELATED TO ACCELERATOR AND FREE-ELECTRON LASER APPLICATION: AN IN-LATTICE CONFINEMENT FUSION REACTOR(LCFR) AND AN ALLOYING METHOD FOR ISOTOPE SEPARATION

Yuuki KAWARASAKI

Freelance Physics Scientist
407-9 Ichigie, Hitachinaka, Ibaraki 312-0033 JAPAN
E-mail: kawrsky@mito.ne.jp

Abstract:

An In-Lattice Confinement Fusion Reactor(LCFR) is conceptually based on recombination of the characteristic or functional elements of; 1) Cold Fusion, 2) Plasma Fusion(MCF&ICF), 3) Fission Reactor, and 4) D-T(D) Neutron Source and an Alloying Method for Isotope Separation comes from an inference that there must appear an isotope effect in the equilibrium phase diagrams of binary alloys, e.g., Ag-Au, Cu-Au alloys.

加速器・自由電子レーザーの周辺

— 新方式・核融合炉(LCFR)と新・同位体分離法(合金法)の提案 —

1. 新方式・核融合炉(LCFR)

常温核融合は、元々、幻だったが、本提案への契機になった。この提案の基礎は、(1) 常温核融合、(2) 従来からのプラズマ核融合(磁場閉じ込め・慣性閉じ込め)、(3) 核分裂原子炉と、(4) 加速された重水素イオンのD-T(D) 反応による高速中性子発生の各分野の特徴的要素を取り出し、再構成したものと見なせる。文献(1)に、より詳細が記述されている。

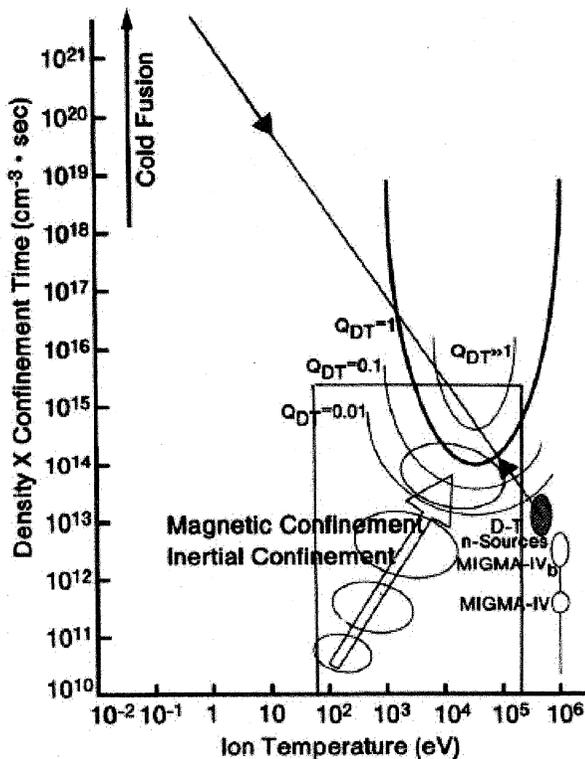
ある種の金属は、水素同位体を吸蔵したり、水素と化合物を作ったりする。吸蔵された水素は、格子間を自由に動き廻って、あたかも、プラズマのように振る舞う場合があり、格子ガスとか、金属内プラズマなどと呼ばれている。但し、運動エネルギーは低いので、核反応に至る確率は無視してよい。しかし、もし何らかの方法で、これら吸蔵水素同位体に、十分な運動エネルギーを与えることが出来れば、金属内で核融合反応を起こすことが可能になる。

中性子が発見され、1930年代中・後半ころから、加速重水素イオンを(三)重水素化金属ターゲットに照射して、高速中性子を発生させ(D-T(D)中性子源)、中性子物理の実験的研究に盛んに用いられて来ている。しかし、この際のエネルギー収支、すなわち、核反応で生じたエネルギーと、加速に要したエネルギーの比(Q値)は、百分の一以下で、そのままでは実用にならない。そこで考え出されたのがプラズマ核融合で、長い間、R&Dが続けられている。

ここでは、D-T中性子源と常温核融合を統合させる立場で考えて見る。それには、拡張されたLawson図(第一図)を利用すると理解し易い。

D-T 中性子源と常温核融合を結ぶ線は、幸いにも、プラズマ核融合の自己点火以上の部分を通過する。

したがって、中性子源の領域を、または、常温核融合の領域を、何らかの方法でこの位置に移動させればよいことになる。



第一図 拡張された Lawson 図

ひとつ考え方として、中性子源ターゲットをずっと大きくした場合を想定する。発生した高速中性子はターゲット内を飛行する間に金属の原子核や水素と衝突する。その際、中性子の運動エネルギーの授受が行われるが、核分裂炉物理で取り扱われる「中性子の減速」の問題と同じことが起こる。すなわち、軽い水素同位体の

みにエネルギーが伝達され、それらを選択的に加熱することになる。反跳された水素同位体は核反応を起こすに十分なエネルギーを持ち得る。しかし、Q-値が1以上になるとは考えられない。そこで、如何にしたらQ-値を上げられるかを工夫する。

今、(三) 重水素(D or T)を吸蔵した金属ブロックを炉心とし、それに高速中性子を入射する系を想定する。中性子数を n とし、核反応率を R とすれば、普通には、両者は比例するが、ある条件下で

$$R = \varepsilon_1 n + \varepsilon_2 n^2$$

のように、非線形成分が導入出来れば、原理的にQ-値を1以上にすることができる。右辺第二項の意味は、プラズマ核融合に対比して考えれば、多数の過渡的マイクロプラズマを発生させることと見なせる。

ε_1 , ε_2 は、炉心形状、中性子入射条件、水素吸蔵率などに依存する係数であるが、 ε_2 は ε_1 よりずっと小さいので、 n を大きくする必要がある。幸い、高速中性子反跳による核反応時間は極く短いので、パルス運転でよく、 n を大きくすることが出来る。もし、 n が不足する場合には、直接駆動レーザー核融合に倣って、複数の入射器を装備すればよい。

このような考察から、概念的には、(1) 一辺1~2mの立方体炉心に、(2) パルス(1 μ sec 以下)運転の複数ケ(立方体各面では、6ケ)のD-T中性子源を持つものになる。Dイオン源としては、加速電圧100~400kV、尖頭電流100A~10kAになるだろう。これは、パルス加速器(パルス変調器)技術の応用である。

より定量的検討からの実用化研究は、まさに、新方式・核融合炉物理・炉工学の創出になる。その際、磁場閉じ込め(MCF)、慣性閉じ込め(ICF)と本方式(LCF)に共通な諸元・特性、即ち、プラズマ密度(単位: cm^{-3})、容量(cm^3)、加熱方式、プラズマ分布、運転姿態、炉としての構成について、比較しておく参考になる。MCF($\sim 10^4$, $\sim 10^8$ 、高周波・電流・中性粒子入射、マクスウェル分布、長いパルスか連続、ブランケット必要)、ICF($\sim 10^{25}$, $\sim 10^{-2}$ 、爆縮、集団的、ナノ秒パルス、ブランケット必要)、LCF($\sim 10^{22}$, $\sim 10^6$ 、高速中性子反跳、ランダム、ブランケット不要)。ここで、密度と容量の積は、MCF; $\sim 10^{22}$ 、ICF; $\sim 10^{23}$ 、LCF; $\sim 10^{28}$ となり、これは一つの指標と見ることが出来る。さらに、LCFRは、分裂炉(FR)との類似点も多いので、燃料・その形態、反応メカニズム、連鎖反応の有無を比較しておく。FR(U-235またはPu-239)、炉心アセンブリ内の燃料棒金属または酸化物、低速中性子の吸収・核分裂、連鎖反応)、LCFR(DまたはT(He-3)、金属炉心内吸蔵イオン、高速中性子の反跳、中性子入射時のみ)。

燃料Dのみの初期装荷でも、稼働初期の効率の低さを厭わなければ、D-D反応によって、TとHe-3

が生成されるので、T装荷の困難さが回避できる。

炉心内の各所に、重水素化トリウム(ThD)を装荷しておく、Dの補給源となり、かつ、トリウムは役目を終えた熱化中性子を吸収し、 β 崩壊して、プルトアクトニウム(Pa)になり、そして、ウラン-233になる。これは、より直接的な核融合・核分裂ハイブリッド炉である。

2. 新・同位体分離法(合金法)

レーザー同位体分離には、原子法と分子法があるが、いずれも、波長可変を特徴とする自由電子レーザーが有利であり、原子法多段式・超伝導リニアック駆動FELシステムを提案したことがある(2)。しかし、質量分析法と共に、ガスないしはイオンの状態で利用する点では、効率はあまり高くなく、工業的利用は限られている。

如何なる同位体分離法も、何らかの、いわゆる「同位体効果」を利用している。もし、新しい同位体効果が見つければ、それに対応した分離法が確立出来るわけである。

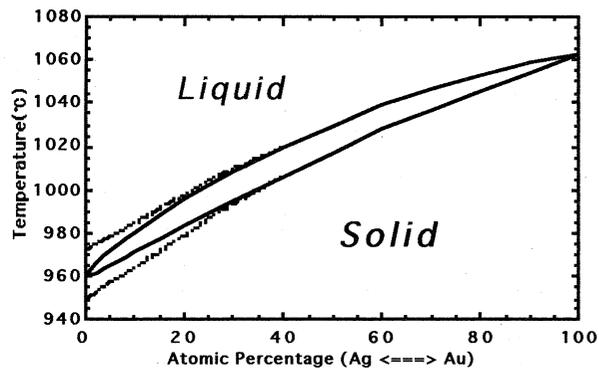
ここでは、二元合金の特性を利用した分離法を提案する。二元合金といっても、数多く存在する。そこで、同位体効果とが最も顕著に現れると考えられる金・銀・銅の組を選ぶ。何故ならば、天然銀は銀-107(51.84%)、銀-109(48.16%)、天然銅は、銅-63(69.17%)、銅-65(30.83%)の二つの同位体から成るが、金は単一同位体元素(金-197(100%))であるから。一般に、偶陽子核元素は、複数ケの安定同位体を持っているので、事情は複雑になる。金・銀・銅は、周期律表で同じグループ(IB)に属し、結晶構造も同じ面心立方体(fcc)で、銅だけが小さい有効イオン径(ρ (金・銀) $\approx 1.44\text{\AA}$, ρ (銅) $\approx 1.28\text{\AA}$)を持ち、熱・電気伝導度が最も高い金属である。

金・銀二元合金の状態図(または相図)は良く知られているが、金・銅および銀・銅合金を含めての状態図の統一的説明には成功してはいない。それは、これまで、同位体の自由度を導入していなかったからである。

同位体の自由度を導入して考察すると、金・銀二元合金の状態図(葉巻型)において、固体と液体が共存している混合相の液体の部分は、銀-107と金の合金であり、固体の部分は、銀-109と金の合金であると推論できるから、既に昔から、同位体分離は成されていたことになる!!! 同時に、銀-107と銀-109の融点が23°C程異なることにもなる。これらを初めてポスター発表しておいた(3)。

もし、完全に同位体分離された銀-107または銀-109と金との合金を作れば、混合相が現れるとは考えにくい。事実、金・アルミ合金状態図には、そ

のようなものはないので、各々は第二図において点線で示すようになるであろう。



第二図 金・銀二元合金状態図

それでは、何故に天然銀の融点は一点か？と云う疑問が生ずる。これに対して、次のように考えるのが合理的であろう。すなわち、これらの金属では、最外殻のs電子が伝導(自由)電子となって、互いに静電的に反撥するイオン(d殻より内側)を結びつけて、結晶を作っている。このようにイオンを格子点に留めている力は、伝導電子による静電ポテンシャルであり、融点はポテンシャルの深さ依存していると見ることができる。天然銀の場合、同位体別のポテンシャル同士が互いに作用し合って、二つの同位体の融点を一点にしていると見ることができる。一方、金・銀合金の場合、金の存在で、銀同位体ポテンシャル間の相互作用が阻害され、金ポテンシャルとの相互作用が強くなり、分離すると考えられる。これを裏付ける例が金・銅合金の状態図(蝶型)に見られる。すなわち、成分比が半々の時、あたかも、金の影響が消滅したようなり、一融点を示している。

銀・銅合金は、前の二例と異なった様相(共晶型)を示しているが、同じ考え方で、銀同位体と天然銅との合金では、金・銅合金と類似した状態図になり、また両者共分離同位体では、一本の曲線になるであろうことが推論できる。

原子またはイオンの質量の99.98%は、その中心にある原子核が占めている。温度は、質量を持つものの熱運動に起因する。気体分子運動と温度の関係は

$$T(K) = 1/(3kN) \cdot \sum m_i v_i^2$$

のように書ける。静電ポテンシャルは同位体に対して同じであり、融点は上記関係式の数値に対応しているとすれば、当然、同位体毎に融点は異なることになる。すなわち、融点は原子量に比例することになる。

天然銀(原子量 ≈ 108)の融点は、1235.1K(961.9°C)であるので、銀-107の融点は、1223.7K(950.5°C)、

銀-109のそれは、1246.5K(973.3°C)になり、両者の差は、 $\approx 23^\circ\text{C}$ となる。同様に、天然銅(原子量 $=63.55$)の融点は、1357.3Kであり、銅-63と銅-65は、それぞれ、1345.6K, 1388.3K(差 $\approx 43^\circ\text{C}$)となる。両者の同位体間での融点の差は、銅の場合の方が大きい。事実、両者の状態図を詳細に観察すれば、混合相の膨らみ具合から、それが読みとれる。

原子量と融点が密接に関係しているとするならば、金・銀・銅では、原子量が大きく異なっている(ほぼ、197:108:64)にもかかわらず、融点は、それぞれ1337.6K(Au), 1235.1K(Ag), 1357.3K(Cu)と殆ど同じである理由を説明しなければならない。ポテンシャルの深さに違いがあることが、示唆される。そこで、融点/原子量の相対値(Au:Ag:Cu)とポテンシャルの相対値を比較してみる。ポテンシャルは、イオン径に逆比例し、かつ、d殻以内の電子の遮蔽を受けるので、 $(Z-1)$ にも、逆比例しているとするのが合理的である。二つの相対値は良く一致する。

未だ、実験的証明はなされていないが、その手続きは直ちに考えられる。その一つは、混合相の液体部分の質量分析である。

この提案が正しいとすれば、応用の一つとして、ウラン-235濃縮が考えられる。それは、天然ウラン・トリウム合金を用いることである。両者とも、アクチナイド族に属するので、金・銀・銅の場合ほど単純でない事情は存在する。しかし、これが出来ればトリウム・ウラン-233サイクルが確立することになる。

さらに、より直接的にリニアック技術に貢献する応用がある。金属蠟(金蠟とか銀蠟の類)の融点に巾があることは、知られている。これは、これまで述べてきたことである。分離同位体を用いれば融点巾はなくなり、一回以上蠟付けを必要とするような複雑な形状をした高周波空洞を製作の際、極めて有効となる。

参考文献

- (1) Y. Kawarasaki, "Possible In-Lattice Confinement Fusion(LCF)," Proc. of ICENES'96(8th Intl. Conf. on Emerging Nuclear Energy Systems), p.487-495 (June 24-28 1996, Obninsk, Russia)
- (2) Y. Kawarasaki and M. Sugimoto, "Preliminary Considerations on the Isotope Separation dedicated Free-Electron Laser," Proc. of 16th Linac Meeting in Japan, p.52-54 (September 3-5 1991, Tokyo, Japan)
- (3) Y. Kawarasaki, "Possible Alloying Method for Isotope Separation: Difference of Melting Point among or between Isotopes of Metallic Elements," Abstracts of 1997 AAAS (American Association for the Advancement of Science) Annual Meeting, p. A-97, (February 13-18 1997, Seattle, WA, USA)