

Notice

This translation is machine-generated. It cannot be guaranteed that it is intelligible, accurate, complete, reliable or fit for specific purposes. Critical decisions, such as commercially relevant or financial decisions, should not be based on machine-translation output.

DESCRIPTION JP2011220731A

Nuclear fusion reactor using fusion chain reaction

[0001]

This invention relates to a fundamental principle and method for inducing an energy amplification fusion reaction or a fusion chain reaction in a liquid lithium alloy containing metallic beryllium, boron, magnesium, or calcium as a fusion fuel, and to a fusion reactor based on this fundamental principle.

本発明は、核融合燃料としての金属ベリリウム、ボロン或いはマグネシウム、カルシウムを混入した液体リチウム合金中で、エネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応を誘発する基本原理と方法および該基本原理に基づく核融合反応装置に関するものである。

[0002]

From the past to the present, a high-density ion-electron plasma sufficient for practical use in nuclear fusion reactions has yet to be realized. For these reasons, the applicant has disclosed a series of inventions, such as "a method for generating molecular chemical fusion reactions and a molecular chemical fusion energy generator." In this prior invention, it is possible to achieve the aforementioned high-density ion-electron plasma for practical nuclear fusion using existing means.

従来から今日まで核融合反応の実用に十分な高密度のイオン・電子プラズマはまだ実現していない。このようなことから、本出願人は、一連の発明、例えば「分子化学核融合反応発生法及び分子化学核融合エネルギー発生装置」を公開した。この先願発明では、既存の手段によって、実用核融合を実現する前記の高密度イオン・電子プラズマの達成が可能である。

[0003]

The lifespan of contracted fusion atoms formed by atomic fusion through atomic collisions

with energies below 25 keV (kiloelectron volts) per nucleon is significantly extended by the cohesive forces in liquid metallic lithium.

核子あたり 25 keV（キロ電子ボルト）のエネルギー以下の原子衝突による原子融合で形成される収縮した融合原子は、液体金属リチウム中の凝集力によって寿命が大幅に延びる。

As a result, the reaction rate of nuclear fusion of the high-density pairs of atomic nuclei confined within the fusion atom is astronomically increased, inducing nuclear fusion linked to atomic fusion, i.e., chemical nuclear fusion reactions (or simply fusion reactions). In fact, it has been observed that in ion irradiation devices that generate such atomic collisions, deuterium molecular ions irradiated onto liquid metallic lithium generate nuclear fusion reaction energies that far exceed the acceleration energy. The principles and observational results have been published in international journals issued by the Japan Society of Applied Physics and the Physical Society of Japan, in the proceedings of the Uppsala University, and in the collection of papers on high-density nuclear fusion published by the Swedish Energy Agency. Furthermore, there are also abstracts of lectures given at the Royal Swedish Academy of Sciences and the Royal Swedish Academy of Technology and Science.

その結果、該融合原子内に閉じ込められた高密度の原子核対の核融合の反応率が天文学的に増進する原子融合と連動した核融合すなわち化学核融合反応（又は融合反応と略称）を誘発するようになる。実際に、このような原子衝突を発生するイオン照射装置で、液体金属リチウムに照射の重水素分子イオンが加速エネルギーを大幅に上回る核融合反応エネルギーを発生していることが観測されている。原理と観測結果は、日本応用物理学会および日本物理学会発行の国際誌、ウプサラ大学紀要の論文集ならびにスウェーデン・エネルギー庁発行の高密度核融合論文集として公表されている。なお、スウェーデン王立科学アカデミーおよび同技術科学アカデミーにおける講演抄訳もある。

[0004]

However, with this method and apparatus, the nuclear reaction rate by slow ions is significantly affected by the physicochemical state of the irradiated metal surface, making steady-state and stable energy generation extremely difficult. Therefore, a more detailed study of the reaction mechanism is necessary for practical application.

しかしながら、この方法および装置では、低速イオンによる核反応率が照射金属表面の物理的化学的状態に著しく影響を受けるので、定常的かつ安定なエネルギー発生は至難であり、実用に向けた反応機構のより緻密な検討が必要である。

[0005]

国際公開番号WO 2 0 0 6 / 0 4 6 6 8 0

国際公開番号WO 2 0 0 6 / 0 4 6 6 8 0

[0006]

池上栄胤著「液体金属リチウム中の高密核融合」 E R 2 0 0 6 . 4 2 スウェーデン・エネルギー
庁2006。改訂版2007

池上栄胤著「液体金属リチウム中の高密核融合」 E R 2 0 0 6 . 4 2 スウェーデン・エネルギー
庁2006。改訂版2007

[0007]

In the aforementioned fusion reaction, the arrangement of orbital electrons constituting the atoms changes in accordance with the nuclear collisions in liquid metallic lithium. As a result, nuclear collisions occur in conjunction with atomic collisions through atomic fusion, and the nuclear fusion of nuclear pairs within the fused atoms is enhanced by the thermodynamic enhancement effect unique to spontaneous solution chemical reactions in atomic fusion.

前記融合反応では、液体金属リチウム中の原子核衝突に合わせて原子を構成する軌道電子の配列が変わることにより、原子核衝突が原子衝突と連動して原子融合を通じて発生し、原子融合における自発性溶液化学反応特有の熱力学的増進効果によって融合原子内の原子核対の核融合が増進していたのである。

[0008]

For nuclear fusion to occur in conjunction with atomic fusion, a condition is that the collision time between the irradiated ions and the atoms is not too short compared to the orbital period of the atoms' electrons. In other words, the ion velocity was considered to be about the same as the Bohr velocity, which is expressed as $1/137$ times the speed of light c , and this presented a unique challenge inherent to the aforementioned low-speed ion irradiation.

このような原子融合と連動した核融合の発生には、照射イオンと原子との衝突時間は、原子の軌道電子の旋回周期に比べて、あまり短くない事が条件となっている。つまりイオン速度が光速 c の $1/137$ 倍で表現されるボーア速度と同程度とされ前記低速イオン照射固有の難題が生じていた。

[0009]

<Expansion of Effective Ion Energy> Generally, the effective reaction cross-section of a chemical fusion of an ion with mass number A and relative kinetic energy E is given by the following equation 1.

＜有効イオンエネルギーの拡大＞ 一般に質量数 A 、相対運動エネルギー E のイオンの化学核融合の実効反応断面積は、下記の数 1 であたえられる。

However, K is a reaction equilibrium constant specific to the chemical process of atomic fusion, representing the degree of chemical fusion enhancement, and can be calculated from thermodynamic data as described later. The degree of coordination between atomic fusion and nuclear fusion, $F(E)$, is given by equation 2 using the ion energy $E_B = 0.025 A \text{ MeV}$ (million electron volts) of the Bohr velocity. The fusion cross-section of the two bodies can be calculated using the spectroscopy factor S and the Gamow energy E_G , as shown in equation 3 below.

但し K は原子融合の化学過程特有の反応平衡常数で、化学核融合の増進度をあらわし、後述するように熱力学的データから算出することができる。原子融合と核融合の連携度 $F(E)$ はボーア速度のイオンエネルギー $E_B = 0.025 A \text{ MeV}$ （ミリオン電子ボルト）を用いて数 2 であたえられる。二体の

核融合断面積は、スペクトロスコーピー因子 S とガモフ・エネルギー E_G を用いて、下記の数 3 で求められる。

[0013]

Conventional theories and experiments in chemical fusion were limited to ion energies in the nuclear stopping power region, where the degree of interaction between the two equations is close to 1, i.e., low-energy ions close to the Bohr velocity.

従来の化学核融合の理論と実験は、数 2 の連携度が 1 に近い核的阻止能領域のイオンエネルギーつまりボーア速度に近い低速イオンに限定されていた。

However, in recent years, the generation of superheavy fusion atoms has been observed in ion collisions with energies far higher than E_B , suggesting that the upper limit of ion velocities at which chemical fusion can occur through the coordinated action of nuclear and atomic collisions is considerably higher than the Bohr velocity.

しかしながら近年、E Bより遙かに高いエネルギーのイオン衝突で超重融合原子生成が観測されており、原子核衝突と原子衝突の連動による化学核融合発生が可能なイオン速度の上限は、ボーア速度よりかなり高い事を示唆している。

[0014]

Considering equation 1, we can see that the effective reaction cross-section of chemical fusion is maximized when the ion energy is the optimal value E_{opt} in equation 4.

数 1 を考察すると、化学核融合の実効反応断面積は、イオンエネルギーが数 4 の最適値 E_{opt} の時、最大とわかる。

The comparison between this maximum value and the value in the nuclear stopping power region energy is given by equation 5.

この最大値と核的阻止能領域エネルギーでの値との比較は、数 5 であたえられる。

Generally, since E_G is larger than E_B , in equation 5, the effective reaction cross-section of chemical fusion by a medium-rate ion with E around E_{opt} is far larger.

一般に E_G は E_B より大きいため数5では、 E が E_{opt} 程度の中速イオンによる化学核融合の実効反応断面積が遥かに大きい。

[0017]

As an example, we will investigate a reaction in a liquid lithium alloy in which a beryllium nucleus and a helium ion (alpha particle) undergo a reaction represented by number 6, which generates a neutron n and an energy of 5.78 MeV via a fused quasi-carbon atom.

一例として、液体リチウム合金中でベリリウム原子核とヘリウムイオン（アルファ粒子）が、融合した準炭素原子経由で、中性子 n とエネルギー5.78MeVを発生する数6で表現される反応をする場合を調べる。

In this case, $E_G = 17.58 \text{ MeV}$, $E_B = 0.10 \text{ MeV}$, and $E_{opt} = 1.33 \text{ MeV}$, and the comparison result is given by equation 7.

この場合 $E_G=17.58\text{MeV}$ 、 $E_B=0.10\text{MeV}$ 、 $E_{opt}=1.33\text{MeV}$ で比較の結果は数 7 であたえられる。

The equilibrium constant for the fusion quasi-carbon formation process in reaction 6 is $K = 10^{39}$, and since chemical fusion is induced at this level of enhancement, theoretical considerations of the reaction probability, taking into account energy loss during ion movement, conclude that high-speed alpha particles with energies of several MeV are slowed down by the scattering process in the liquid lithium alloy, and most of them undergo nuclear fusion near the E_{opt} energy.

数 6 の反応における融合準炭素原子形成過程の平衡常数は、 $K=10^{39}$ であり、化学核融合は、この増進度で誘発されるから、エネルギーが数MeVの高速アルファ粒子は液体リチウム合金中の散乱過程で減速し E_{opt} のエネルギー近傍で殆どが核融合する事が、イオン走行中のエネルギー損失を考慮した反応確率の理論的考察から結論される。

[0020]

The chemical fusion that is induced with a probability close to 100%, as explained in the previous section, has the potential to lead to a chain reaction. For example, the neutrons generated in reaction 6 slow down in the liquid lithium alloy, becoming thermal neutrons and causing the reaction shown in 8 below. The medium-velocity alpha particles generated here trigger a chemical fusion reaction of type 6. Furthermore, the simultaneously generated tritium ions (tritons) t multiply neutrons and alpha particles through the reactions described in numbers 9, 10, and 11 below.

前項で説明した 100%に近い確率で誘発する化学核融合は、連鎖反応につながる可能性がある。例えば数 6 の反応で発生した中性子は、液体リチウム合金中で減速して熱中性子化し下記の数 8 の反応を発生する。ここで発生した中速アルファ粒子は数 6 の化学核融合反応を誘発する。又同時発生三重水素イオン（トリトン） t は下記の数 9，10 及び 11 の反応によって中性子とアルファ粒子を増殖する。

[0025]

As can be seen from the reactions in equations 8, 9, and 10, metallic lithium has the function of a fusion fuel in addition to being a solvent and neutron moderator.

数 8、9 及び 10 の反応から理解されるように、金属リチウムは溶媒および中性子減速材に加えて核融合燃料の機能も持っている。

Generally, light nuclear reactions do not produce radioactive waste, so lithium, the metal with the lowest specific gravity, can also be used as a primary coolant with excellent thermal properties.

一般に軽核の核反応では、放射性廃棄物が生じないので、比重が最小の金属であるリチウムは、優れた熱特性の一次冷却材として使用することもできる。

In other words, metallic lithium has four functions: solvent, fuel, neutron moderator, and primary coolant for liquid fuels, which significantly simplifies and lightens the structure of fusion reactors that use energy amplification fusion reactions or fusion chain reactions.

つまり金属リチウムは、液体燃料の溶媒、燃料、中性子減速材、および一次冷却材の 4 機能を持つので、エネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応による核融合炉の構造を著しく単純化、軽量化する。

[0026]

Although metallic beryllium is sparingly soluble in liquid lithium, its insertion as a powder or neutron reflector allows it to disperse and mix into the liquid lithium alloy via dissolved boron, inducing reactions 6 and 11 in the form of chemical fusion.

金属ベリリウムは液体リチウムに難溶であるが、粉末又は中性子反射材としての挿入で液体リチウム合金中に溶けているボロンを媒介として分散混入して、化学核融合の形で数 6 及び 11 の反応を誘発する。

The unique characteristic of boron as a fuel lies in the fact that the following 12 reactions occur at four times the reaction area of 8, i.e., a reaction cross-section of 3840 b (burn).

ボロンの燃料としての特色は、下記の数 1 2 の反応を数 8 の反応の 4 倍つまり 3 8 4 0 b (バーン) の反応断面積で発生する点にある。

Furthermore, boron also increases neutron production through Triton absorption.

さらにボロンはトリトン吸収で中性子の増殖もする。

[0028]

The ${}^7\text{Li}$ ions generated in the reaction of equation 12 have a recoil energy of 0.84 MeV and, similar to the reaction in equation 6, induce the quasi-carbon synthesis chemical fusion reactions of equations 13 and 14 below with an enormous enhancement degree $K \sim 10^4$, thereby multiplying neutrons and alpha particles.

数式 1 2 の反応で発生した ${}^7\text{Li}$ イオンは 0.84 MeV の反跳エネルギーを持ち数 6 の反応と同様に下記の数 1 3 及び 1 4 の準炭素合成の化学核融合反応を莫大な増進度 $K \sim 10^{47}$ で誘発して中性子とアルファ粒子を増殖する。

[0031]

Chemical fusion reactions occur through the fusion of atomic nuclei pairs that are confined at high density within a fusion atom, making them fundamentally different from hydrogen-hydrogen plasma fusion.

化学核融合反応は融合原子内に高密度で閉じこめられた原子核対の融合を通じて発生するので、水素同志のプラズマ核融合とは全く異質である。

Rather, it shares many similarities with high-density nuclear fusion in the evolutionary process of stars, as discussed in the aforementioned series of chemical fusion reports.

むしろ星の進化過程における高密核融合との類似点が多く、前記の一連の化学核融合報告で議論されている。

Nuclear fusion reactions 6, 8-14 all occur in the high-density core of giant stars or in white dwarfs undergoing the supernova process.

数 6、8 ～ 14 の核融合反応は、いずれも巨星の高密度の芯部或いは超新星過程の白色矮星で発生しているものである。

[0032]

The near-100% probability of quasicarbon-mediated chemical fusion in beryllium and lithium, as described in sections 0017 and 0028, suggests that similar reactions occur in magnesium and calcium through the formation of fused quasi-silicon and quasi-titanium atoms.

前項 0017 及び 0028 で説明したベリリウムならびにリチウムの 100% 近い確率で誘発される準炭素原子経由の化学核融合は、同様の反応が融合準珪素原子および準チタン原子形成を通じて、マグネシウムおよびカルシウムについて発生する事を示唆している。

In fact, since the reactions in equations 15 and 16 below produce neutrons with an enhancement degree $K \sim 10^{34}$, magnesium can play the same role as beryllium in equation 6.

事実下記の数 15 及び 16 の反応が、増進度 $K \sim 10^{34}$ で中性子を生成するので数 6 のベリリウム同じ役割をマグネシウムが果たすことが可能である。

Furthermore, reactions 17, 18, and 19 occur with an enhancement level of $K \sim 10^{12}$.

さらに数 17、18、19 の反応が、 $K \sim 10^{12}$ の増進度で発生する。

Aluminum also undergoes a weak Triton absorption reaction.

アルミニウムも弱いながらトリトン吸収の反応をする。

Similarly, with calcium, reactions 20 and 21 occur at $K \sim 10^{32}$ to produce neutrons.

カルシウムについても同様に数 2 0 及び 2 1 の反応が、 $K \sim 10^{32}$ で発生して中性子を生成する。

Furthermore, reactions 22, 23, 24, and 25 generate neutrons or alpha particles with an enhancement level $K \sim 10^{14}$.

さらに数 2 2、2 3、2 4、2 5 の反応が増進度 $K \sim 10^{14}$ で中性子又はアルファ粒子を発生する。

The same applies to $^{42}, ^{43}, ^{46}, ^{48}\text{Ca}$.

$^{42}, ^{43}, ^{46}, ^{48}\text{Ca}$ についても同様である。

[0044]

In addition to the neutron, triton, and alpha particle production reactions mentioned above, it goes without saying that reactions producing protons, deuterons, and helium-3 also occur.

前記の中性子、トリトン粒子、アルファ粒子生成反応に加えて、陽子、重陽子、ヘリウム-3生成の反応も発生することは言うまでもない。

Reaction number 26 occurs with an enhancement level $K \sim 10^{24}$, and reactions number 27 and 28 occur with an enhancement level $K \sim 10^{31}$, generating protons.

事実数 26 の反応が増進度 $K \sim 10^{24}$ で発生し、数 27、28 の反応が増進度 $K \sim 10^{31}$ で発生して陽子を生成する。

A similar reaction occurs with aluminum.

アルミニウムについても同様の反応がある。

[0048]

If a neutron source is inserted into a liquid lithium alloy containing metallic beryllium or the like, or if charged particles are injected, as is clear from the above reaction, neutrons, tritons, alpha particles, etc. will proliferate, and an energy amplification fusion reaction or fusion chain reaction will occur. However, unlike nuclear fission chain reactions, it has a self-protective mechanism.

金属ベリリウム等を混入した液体リチウム合金中に中性子源を挿入又は荷電粒子を打ち込めば、前記の反応から明らかなように中性子、トリトン、アルファ粒子等が増殖してエネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応が発生するが、核分裂連鎖反応とは異なり自己防御作用がある。

[0049]

Generally, the effective reaction cross-section of a chemical fusion reaction is determined using the reaction enhancement level, or the fusion atom formation equilibrium constant K ,

as shown in Equation 1. However, the enhancement level has a sharp temperature T dependence, as shown in Equation 29, and decreases drastically with increasing temperature.

一般に化学核融合反応の有効反応断面積は、反応増進度つまり融合原子形成平衡常数 K を用いて数式 1 のように決定されるが、増進度には、数 29 に示すように鋭い温度 T 依存性があり、温度上昇で激減する。

Here, k is the Boltzmann constant, and the numerator in the exponential function is the decrease in Gibbs energy (also called chemical potential) specific to the chemical process of fusion atom formation, which can be obtained from a physicochemical data table.

ここで k はボルツマン常数であり、指数関数の中の分子は融合原子形成の化学過程に固有のギブスのエネルギー（化学ポテンシャルとも言う）の減少値であって物理化学データ表から求めることができる。

[0051]

As a specific example, in the reaction shown in equation 6, the Gibbs energy decrease for the fusion quasi-carbon atom formation reaction is 3.98 electron volts.

具体例として数 6 の反応の場合、融合準炭素原子形成反応のギブスのエネルギーの減少値は3.98電子ボルトである。

Therefore, at a temperature of 460K, which is only slightly higher than the melting point of metallic lithium, the reaction is greatly enhanced, with $K = 4 \times 10^{43}$ ^{NER¹}. However, when the liquid lithium alloy is heated to 800K, the reaction is drastically reduced to $K = 2 \times 10^{23}$ ^{NER¹¹}, and the reaction is suppressed.

従って金属リチウムの融点より僅か高い 4 6 0 K の温度では $K=4 \times 10^{43}$ と膨大な増進度であるが、液体リチウム合金が 8 0 0 K まで昇温すると、 $K=2 \times 10^{23}$ に激減し反応は抑制される。

Furthermore, if boron carbide or lithium-6 encapsulated tubes are inserted into the liquid lithium alloy to absorb neutrons, the reaction will stop immediately.

さらに液体リチウム合金中にボロンカーバイトやリチウム-6 封入管を挿入して中性子を吸収すれば、反応は即刻停止する。

[0052]

In energy amplification fusion reactions or fusion chain reactions, in addition to generating nuclear reaction energy, neutrons and various charged particles are also generated.

エネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応では、核反応エネルギー発生に加え中性子及び各種の荷電粒子を発生する。

Furthermore, by inserting a suitable radiation source into a liquid lithium alloy with a high neutron density, gamma ray generation is also possible.

また中性子密度の高い液体リチウム合金中に適当な被ばく物質を挿入すれば、ガンマ線発生も可能である。

In other words, a fusion reactor utilizing the aforementioned reaction functions as a source of energy, neutrons, and gamma rays.

すなわち前記の反応を利用した核融合炉は、エネルギー、中性子、ガンマ線発生源としての機能をもつ。

[0053]

Figure 1 is a diagram illustrating the schematic configuration of the fusion reactor body used in all embodiments of the present invention.

図1は本発明の実施例の全てにわたって使用される核融合炉本体の概略構成を説明するための図である。

Figure 2 is a diagram illustrating the schematic configuration of the nuclear fusion reactor of the present invention.

図 2 は本発明の核融合反応装置の概略構成を説明するための図である。

(Example 1)

(実施例 1)

Figure 3 is a diagram illustrating the schematic configuration of the nuclear fusion reactor of the present invention.

図 3 は本発明の核融合反応装置の概略構成を説明するための図である。

(Example 2)

(実施例 2)

Figure 4 is a diagram illustrating the schematic configuration of the nuclear fusion reactor of the present invention.

図 4 は本発明の核融合反応装置の概略構成を説明するための図である。

(Example 3)

(実施例 3)

[0054]

In contrast to the more complex and diverse principles of chemical fusion reactions compared to nuclear fission reactions, the structure of the fusion reactor of the present invention is extremely simple, as shown in Figure 1.

化学核融合反応の原理が、核分裂反応に比べて複雑かつ多様であるのに反して本発明核融合炉の構造は図 1 のように至って単純である。

This is because metallic lithium, the main component of the liquid lithium alloy in the reactor core, has four functions: fuel, solvent, neutron moderator, and coolant.

炉心の液体リチウム合金の主体である金属リチウムが燃料、溶媒、中性子減速材および冷却材の４機能をもっているからである。

The reactor 01 consists of a core 02 made of liquid lithium alloy, a circulating electromagnetic pump 03, an inlet 04, an outlet 05, a reactor startup/control device 06, a reflector 07, and a shield 08.

炉０１は、液体リチウム合金からなる炉心０２、循環電磁ポンプ０３、流入口０４、排出口０５、炉の起動／制御装置０６、反射体０７、シールド０８から構成されている。

[0055]

In this embodiment of the fusion reactor 01, the liquid lithium alloy that forms the core 02 has

the four functions described above. When the reactor startup/control device 06 performs a startup operation by inserting a neutron source or implanting accelerated charged particles, the energy amplification fusion reaction or fusion chain reaction begins, generating fusion reaction energy along with the generation of neutrons and various charged particles.

このように構成された核融合炉 0 1 の実施形態においては、炉心 0 2 の主体である液体リチウム合金が、前記 4 機能を持ち、炉の起動／制御装置 0 6 に中性子源挿入または加速荷電粒子打込みによる起動操作がされると、前記エネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応が始まり中性子及び各種の荷電粒子の発生と共に核融合反応エネルギーが発生する。

In this case, no reaction products that would become radioactive waste are produced, so the heated liquid lithium alloy is discharged from the outlet 05 as a coolant, and the cooled liquid lithium alloy is sent to the reactor core 02 from the circulating electromagnetic pump 03 and inlet 04.

この場合、放射性廃棄物となるような反応生成物は生じないので、発熱した液体リチウム合金は、冷却材として排出口 0 5 から送り出され、冷えた液体リチウム合金が循環電磁ポンプ 0 3、流入口 0 4 から炉心 0 2 に送り込まれる。

[0056]

While enrichment operations to alter the natural abundance ratio of lithium-7 and lithium-6 are not essential for the lithium in liquid lithium alloys, enrichment operations are certainly useful for improving neutron moderation and absorption efficiency.

液体リチウム合金のリチウムは、リチウム-7とリチウム-6の自然存在比を変えるための濃縮操作は不可欠ではないが、中性子減速および吸収の効率化のための濃縮操作は勿論有用である。

It goes without saying that the neutron reflector 07 can be made lighter compared to a conventional reactor.

中性子の反射体 07 が通常の原子炉に比べて軽量化が図れる事は言うまでもない。

The startup/control device 06 for the fusion reactor 01 can be a smaller and simpler version of

the neutron source or boron-carbide rod insertion structure used for starting a conventional nuclear reactor.

核融合炉 0 1 の起動／制御装置 0 6 は通常の原子炉の起動用中性子源やボロン・カーバイト棒の挿入構造を小型簡素化したものでよい。

[0057]

Figure 2 is a schematic diagram illustrating Embodiment 1 of a nuclear fusion reactor, in which the nuclear fusion reactor is the main body.

図 2 は、前記核融合炉を本体とする核融合反応装置の実施例 1 を説明するための概略図である。

The nuclear fusion reactor of the present invention generally consists of a chemical fusion reactor comprising a core 1 mainly composed of a liquid lithium alloy 2 and a heat exchanger 5 used as a heat conversion means.

本発明の核融合反応装置は、概略、液体リチウム合金 2 を主体とする炉心 1 からなる化学核融合炉と熱変換手段に使用する熱交換器 5 とから構成されている。

In the reactor core 1, liquid lithium alloy 2 induces a chemical fusion reaction.

炉心 1 において液体リチウム合金 2 が化学核融合反応を誘発する。

In this chemical fusion reaction, liquid lithium alloy 2 is used as a coolant to generate heat.

この化学核融合反応で発生する熱の冷却材として、ここでは液体リチウム合金 2 を用いている。

[0058]

The heated liquid lithium alloy 2 is sent from the furnace vessel 3 to the heat exchanger (steam generator) 5 by the circulating electromagnetic pump 4.

発熱した液体リチウム合金 2 は、炉容器 3 から循環電磁ポンプ 4 によって熱交換器（蒸気発生器）5 に送られる。

In the heat exchanger 5, the liquid lithium alloy 2 exchanges heat with the water/steam flowing through the heat transfer tubes 6, and transmits the thermal energy generated in the reactor core 1 to a water/steam system for heat utilization, such as a turbine generator 7.

熱交換器 5 において、液体リチウム合金 2 は、伝熱管 6 内を流れる水／蒸気と熱交換を行い、炉心 1 で発生した熱エネルギーを熱利用手段例えばタービン発電機 7 をまわすための水／蒸気系に伝達する。

In this embodiment 1 of the fusion reactor configuration, the liquid lithium alloy 2 is consumed in the reactor core 1 as fusion fuel, and also functions as a coolant in a system that transfers the heat generated in the reactor core to the water/steam system 8 via a heat exchanger.

このように構成された核融合反応装置の実施例 1 では、液体リチウム合金 2 が核融合燃料として炉心 1 で消費されると共に、炉心で発生した熱を水／蒸気系 8 に熱交換器を介して伝達するシステムにおいて、冷却材としての機能を果たすことになる。

[0059]

According to the above-described embodiment 1, since the fuel for the chemical fusion reaction can be supplied by the liquid lithium alloy 2, which also serves as a coolant, special fusion fuel supply equipment is not required.

以上述べた実施例 1 によれば、化学核融合反応の燃料を冷却材でもある液体リチウム合金 2 によって供給できるため、特別の核融合燃料供給の設備は不要となる。

Furthermore, because a liquid lithium alloy 2, primarily composed of lithium metal which is the lightest metal and has excellent thermal properties, is used as the coolant, it is possible to make the heat exchanger more compact compared to when helium is used as the coolant.

また冷却材として最軽量金属で熱的特性に優れるリチウム金属を主体とした液体リチウム合金 2 を使用するため、ヘリウムを冷却材とする場合に比べ熱交換器をコンパクトにすることが可能である。

Furthermore, compared to the case where water is used as a coolant, water requires high pressure to reach the desired high temperature, whereas in Example 1, liquid lithium alloy 2 is used as the coolant. Therefore, there is no need to raise the temperature and pressure of the device, and it becomes possible to make the structure thinner and lighter.

さらに、水を冷却材とする場合と比較するならば、水では所定の高温にするため高圧にする必要があるのに対して、実施例 1 では液体リチウム合金 2 を冷却材としているため、装置の高温高圧化の必要はなく、構造物の薄肉軽量化を図ることが可能となる。

[0060]

Figure 3 is a schematic diagram of Embodiment 2 of the present invention, in which a liquid

lithium alloy supply facility 10 is provided within the system of liquid lithium alloy 2 that induces a chemical fusion reaction as it passes through the reactor core 1.

図3は、本発明の実施例2の概略構成図であって、炉心1を通過中に化学核融合反応を誘発する液体リチウム合金2の系統内に、液体リチウム合金供給設備10を設けている。

This device supplies additional liquid lithium alloy 2, which is used as a coolant during nuclear fusion, as it is consumed as chemical fusion fuel material, in order to continue operation.

これは、核融合によって、冷却材としている液体リチウム合金2が化学核融合燃料物質として消費されるので運転継続のために、液体リチウム合金を追加供給する装置である。

The decrease in liquid lithium alloy can be detected by the drop in the free liquid level 11 of the liquid lithium alloy in the furnace vessel 3 or the free liquid level 12 in the heat exchanger 5, and this liquid level fluctuation is measured by a liquid level gauge 13 or 14.

液体リチウム合金の減少は、炉容器 3 の液体リチウム合金の自由液面 1 1 ないし熱交換器 5 のなかで自由液面 1 2 の低下により把握することができるので、この液位変動は液面計 1 3 又は 1 4 によって計測される。

[0061]

This configuration allows for monitoring the consumption of liquid lithium alloy by chemical fusion reactions and, if necessary, supplying refined liquid lithium alloy from the supply facility 10.

このような構成により、化学核融合反応による液体リチウム合金の消費を把握すると共に、必要に応じ、精製した液体リチウム合金を供給設備 1 0 から追加供給することが可能である。

Furthermore, a separation device 15 connected to this equipment can be used to separate and extract fusion products such as carbon and silicon accumulated in the liquid lithium alloy.

更に、この設備に接続した分離装置 15 によって液体リチウム合金に蓄積した核融合生成物であるカーボンやシリコン等を分離して取り出すこともできる。

According to the above-described embodiment 2, a liquid lithium alloy that serves four functions—fuel for a nuclear fusion reactor, solvent for the fuel material, coolant, and neutron moderator—can be continuously supplied in the required amount, enabling continuous operation of the device.

以上述べた実施例 2 によれば、核融合炉の燃料、燃料物質の溶媒、冷却材、中性子減速材の 4 機能を兼ねている液体リチウム合金を、常時、必要量供給することができ装置の連続稼動を可能にする。

[0062]

As already shown in Figures 2 and 3, Example 2 uses two systems, a liquid lithium alloy 2 and a water/steam system 8, to drive a turbine generator 7 with steam generated by the heat

produced by chemical fusion, and together with the attached condenser 16, constitutes a heat transport system.

実施例 2 は、既に図 2、図 3 においても示しているように、液体リチウム合金 2 と水／蒸気系 8 の 2 つの系統によって、化学核融合の発生熱によって生成した蒸気でタービン発電機 7 をまわし、付属の復水器 16 と共に熱輸送系を構成するものである。

The heat exchanger 5 between the liquid lithium alloy system 2 and the water/steam system 8 uses, for example, a shell-and-tube type heat exchanger.

液体リチウム合金 2 の系と水／蒸気系 8 の間の熱交換器 5 は例えば、シェル＆チューブ方式の熱交換器を使用している。

This configuration allows the device, including the heat exchanger 5, to be made more compact.

このように構成することで熱交換器 5 を含む装置をコンパクトにすることができる。

[0063]

Figure 4 is a flow sheet of a thermoelectric power generation system for illustrating the schematic configuration of Embodiment 3 according to the present invention, showing a primary circulation loop in which a liquid lithium alloy coolant, which is heated by a chemical fusion reaction from the reactor vessel 3 constituting the nuclear fusion reactor, is guided via piping 101 to the high-temperature section 103 of a thermoelectric element (thermoelectric material) 105, heats the high-temperature section 103, and then returns to the reactor vessel 3 via circulating electromagnetic pump 4 through piping 101.

図４は、本発明による実施例３の概略構成を説明するための熱電発電システムのフローシートであって、核融合反応装置を構成する炉容器３から化学核融合反応で発熱した液体リチウム合金の冷却材が、配管１０１を介して熱電素子（熱電物質）１０５の高温部１０３に導かれ、高温部１０３を加熱した後、循環電磁ポンプ４により配管１０１を通過して炉容器３に戻る１次系循環ループを示している。

[0064]

Meanwhile, a secondary heat removal loop for cooling and removing heat from the low-temperature section 104 of the thermoelectric element 105 is composed of piping 106, a circulating electromagnetic pump 107, and a heat dissipation device 108.

一方、熱電素子 105 の低温部 104 を冷却除熱する 2 次系除熱ループが配管 106、循環電磁ポンプ 107、放熱装置 108 により構成されている。

Between the high-temperature section 103 and the low-temperature section 104 of the thermoelectric element 105, the thermoelectric element 105 is in close contact via a thermal stress relaxation material 102, and electricity is generated by the temperature difference between the high-temperature section 103 and the low-temperature section 104.

熱電素子 105 の高温部 103 と低温部 104 の間には、熱電素子 105 が熱応力緩和材 102 を介して密着し、高温部 103 と低温部 104 との温度差によって発電する。

In other words, it directly converts thermal energy into electrical energy.

即ち、熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換する。

The generated energy is supplied to the load via cable 109.

発電エネルギーは、ケーブル１０９によって負荷に供給される。

According to Example 3, since thermal energy can be directly converted into electrical energy, an extremely simple power generation system suitable for a nuclear fusion reactor can be implemented, providing a nuclear fusion reactor that is economical and highly reliable.

実施例３によれば、熱エネルギーを直接電気エネルギーに交換できるので、核融合炉に適合した極めて簡素な発電システムが実施でき、経済性、信頼性に富んだ核融合反応装置を提供することができる。

[0065]

According to the present invention, a nuclear fusion reactor can be provided that achieves the following effects.

本発明によれば、以下に示す効果が得られる核融合反応装置を提供することができる。

[0066]

(1) By mixing liquid metallic lithium with light metal elements that generate neutrons, tritons, alpha particles, etc. in a nuclear fusion reaction to form an alloy, and by giving metallic lithium the functions of a solvent, nuclear fusion fuel, and neutron moderator, an energy-amplifying fusion reaction or fusion chain reaction activated by the injection of neutrons or high-speed particles has been realized, an ultra-simplified nuclear fusion reactor has been realized.

(1) 液体金属リチウムに、核融合反応で中性子、トリトン、アルファ粒子等を発生する軽金属元素を混入して合金とし、金属リチウムに溶媒、核融合燃料、中性子減速材の機能を持たせて、中性

子又は高速粒子の打込みで起動するエネルギー増幅融合反応又は融合連鎖反応を誘発させることにより、超簡素化した核融合炉が実現した。

[0067]

(2) Chemical fusion reactions do not require the use of fusion fuel materials that would otherwise require special development, thus enabling the realization of a remarkably economical fusion reactor.

（２）化学核融合反応では、特段の開発を必要とするような核融合燃料物質を使用しないので、著しく経済性に富んだ核融合反応装置が実現する。

[0068]

(3) A heat transport system can be constructed that uses liquid lithium alloy, which is the fusion fuel, as a coolant at the same time, and a fusion reactor can be provided that is even more compact than the system that uses helium gas or water as a coolant.

(3) 核融合燃料である液体リチウム合金を、同時に冷却材として使用する熱輸送システムを構築でき、冷却材にヘリウムガス又は水を使用する方式に比べて装置の更なるコンパクト化が図れる核融合反応装置を提供することができる。

[0069]

(4) The radiation and light elements produced in chemical fusion are consumed in almost all secondary fusion reactions, with the exception of carbon and silicon.

(4) 化学核融合で発生する放射線および生成軽元素は、カーボンおよびシリコン以外は殆ど全ての2次核融合反応で消費される。

Furthermore, since it does not generate radioactive waste, it is easy to miniaturize and decentralize nuclear fusion reactors.

又、放射性廃棄物は生成しないので、核融合反応装置のコンパクト化と分散化が容易である。

[0070]

(5) As the device is significantly simplified, it is possible to improve the power generation efficiency despite its small size, and to provide a nuclear fusion reactor with high safety in the event of an accident.

（５）装置が大幅に簡素化されるので、小型の割には発電効率の向上が図り易く、また万一の事故等に対する安全性の高い核融合反応装置を提供することができる。

[0071]

(6) Because electricity can be generated directly from thermal energy, a power generation system with an extremely simple structure can be realized, and a nuclear fusion reactor that is highly economical and reliable can be provided.

（６）熱エネルギーで直接発電ができるため極めて簡素な構造の発電システムが実現でき、経済性や信頼性に富んだ核融合反応装置を提供することができる。

[0072]

01 Reactor 02 Liquid lithium alloy (core) 03 Circulating electromagnetic pump 04 Inlet 05 Outlet 06 Startup/control device 07 Reflector 08 Shield 1 Core 2 Liquid lithium alloy 3 Reactor vessel 4 Circulating electromagnetic pump 5 Heat exchanger (steam generator) 6 Heat transfer tubes 7 Turbine generator 8 Water/steam system 9 Circulating pump 10 Liquid lithium alloy supply equipment 11, 12 Free liquid level 13, 14 Liquid level gauge 15 Separation device

16 Condenser 101 Piping 102 Thermal stress relief material 103 High temperature section 104
Low temperature section 105 Thermoelectric element 106 Piping 107 Circulating pump 108
Heat dissipation device 109 Cable

0 1 炉 0 2 液体リチウム合金（炉心） 0 3 循環電磁ポンプ 0 4 流入口 0 5 排出口 0 6 起動／
制御装置 0 7 反射体 0 8 シールド 1 炉心 2 液体リチウム合金 3 炉容器 4 循環電磁ポンプ 5
熱交換器（蒸気発生器） 6 伝熱管 7 タービン発電機 8 水／蒸気系 9 循環ポンプ 1 0 液体リチ
ウム合金供給設備 1 1、1 2 自由液面 1 3、1 4 液面計 1 5 分離装置 1 6 復水器 1 0 1 配管
1 0 2 熱応力緩和材 1 0 3 高温部 1 0 4 低温部 1 0 5 熱電素子 1 0 6 配管 1 0 7 循環ポンプ
1 0 8 放熱装置 1 0 9 ケーブル