

秩父

埼玉陸士60期生会編集部 〒101-0025
東京都千代田区神田佐久間町1-14第2東ビル
512号室はやぶさ国際特許事務所
☎03-6303-3915
編集責任者：川島 順
振替為替：00110-4-51462
令和3年2月 日発行



題字は航士校幹事吉永朴閣下)

宇宙シリーズⅦ 宇宙移住①・月へ

川島 順
予科21-7
航空7-1
(越谷市)



目次

宇宙シリーズ

- I 太陽光発電 (秩父 144 号)
- II 膨張する宇宙① (秩父 145 号)
- III 膨張する宇宙② (秩父 146 号)
- IV 宇宙と軍事①宇宙平和条約 (秩父 147 号)
- V 宇宙と軍事②宇宙ゴミの掃除 (秩父 148 号)
- VI 宇宙旅行 (秩父 149 号)

宇宙移住

はじめに：

人類は宇宙に憧れを持っている。なぜ宇宙を目指すのか。それに対する答えはいろいろある。

まず、学術的研究、そして、冒険心・フロンティア精神によるためか、1961年ソ連の有人宇宙飛行船が初めて地球の静止軌道に到着、地球に帰還後ガガーリン飛行士が語った「地球は青かった」は余りにも有名なセリフである。地球外の天体である月に到着したのは1969年アメリカのアポロ計画によるアポロ11号で、オルドリン飛行士が飛び跳ねるように歩いて月面に星条旗を立てた。

これらの快挙を受けて月や火星への移住計画の実現性が急速に高まってきた。

1. 月への移住

月への移住には多くの問題点がある。

まず、大気や水がない。食料が自給できない。月の重力は地球の1/6である等々である。

2. テトラフォーミング

テトラフォーミングとは人為的に惑星の環境を変化させ、人類が住める星に改造することで、まず移住に必要な物資の調達としては：

(1) エネルギー

月は地球の様な大気が存在していないので、効率よく太陽エネルギーを利用することができる。太陽エネルギーを利用する方法としては、太陽電池を使って光を電気に変え電気エネルギーとして利用する方法と、太陽熱そのものを利用する方法の2つがある。夜になると月の表面温度はマイナス100度以下になるので、昼間水やガラスのような岩石に太陽光の熱を蓄え、夜に放出することにより昼夜の温度差を少なくすることができる。

月にはヘリウム3が多量に存在する。このヘリウム3は核融合発電の燃料として使用できるので、電力を効率よく生産することができる。

(2) 水

NASAの探査機の観測によれば、月には大量の水が存在すると報告されている。しかし、これらの水は月の表面の地層の

下では液体の状態が存在し、極地では氷の状態が存在すると考えられている。これらの水を飲料水または生活用水として使用するには、宇宙基地の建設地点の選定と水の採取方法の研究が必要である。

(3) 酸素

① 月に水が存在すれば、電気分解によって、酸素と水素を得ることができる。酸素は宇宙基地の空気の成分として使用し、水素は内燃機関の燃料として使用できるであろう。

② 月にはレゴリスという酸素を含む砂が存在する。これを熔融塩電解法によって酸素を取り出すことができる。

欧州宇宙機関（ESA）は、2020年1月17日、オランダ西部ノールドウェイクの欧州宇宙技術研究センター（ESTEC）に熔融塩電解によるレゴリスからの酸素を抽出するテストプラントを開設した。この研究所では、複成する合金の活用についても研究をすすめる計画である。

(4) 細菌類・植物

① 細菌類

シノバクテリアのような酸素発生型光合成単細胞微生物は藍藻とも呼ばれ、土壤表層に土壤クラスト（soil crust）を形成し、土壤の安定化や窒素栄養分の供給を行うため、特に砂漠や荒野での植生遷移の初期段階において重要な働きを果たす。地球の大気中の酸素はシアノバクテリアの働きによるものであると云われている。これらの細菌は、有機廃棄物の分解にも役立つ。

② 植物

NASAの進める宇宙での野菜栽培プロジェクト「VEGGIE」では2015年8月に国際宇宙ステーション内で新鮮なレタスを栽培することに成功した。宇宙での栽培に適した野菜としては、二十日大根、豆、トマトで、次にあげられるものはサツマイモ、ジャガイモ。しかし、小麦や米は適していないとされている。

航空機・宇宙船の開発製造会社Sierra

Nevada Corpo.(シエラ・ネヴァダ・コーポレーション)によってつくられた宇宙用栽培装置は、シンプルな散水・照明システムを装備するだけの非常に軽量・コンパクトかつ省電力の装置で上記の「VEGGIE」に利用されている。

日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）は2019年6月月面農場に関する報告書を発表している。この報告書によれば、稲、ジャガイモ、トマトなど8種類の作物を生産した。放射能や隕石の被害を避けるため細長い円筒形の栽培エリアを地中に埋め作物をLEDの光で育てる。水は霧状にして供給し自動収穫機で作物を収穫する。

(5) 動物質蛋白質

① イエバエ幼虫

JAXAは動物質蛋白質の供給源としてイエバエの幼虫を挙げている。繁殖力の強いロシア産のイエバエの卵を飛行土の糞で育て、幼虫を加工した蛋白質で加工食品を製造、幼虫が排出した糞で野菜を育てるという構想である。但し、イエバエと聞いただけで食欲が減退する欠点がある。

② 培養肉

“Shojinmeat Project”は、2014年に日本の研究者、学生、イラストレーターらが集まり、動物を殺さずにタンクの中で筋肉細胞を育てて作る食肉（培養肉）の実用化を目指すために結成された。この組織の生産化を図るために2018年設立されたインテグリルカルチャー（株）が科学技術振興機構（JST）の補助金を得て培養肉の研究を行っている。

鶏肉の場合は、受精卵を途中まで孵化させた段階で「筋芽細胞」を入手し、これを培養液で培養して「筋肉細胞」に育てていく。この方法により2019年8月「食べられる培養フォグラ」の生産に成功した。実際に食したシェフによれば、「コクと甘みがバランス良く感じられ、ピュアと芳醇なフォアでした。」と話している。

獣肉の場合も、動物を殺さずに「筋芽細胞」を採取し、これを培地で培養した後、繊維組織を作るためにそれに適した培地に移し筋繊維を作る。その際、脂肪細胞やコラーゲン繊維などを組み合わせることによって生の肉の食感に近い肉を作ることができる。

③ 欧州にも培養肉の生産を研究している会社が数社ある。その代表的な会社はオランダのMeatbleで、牛の胎児の血清やチャイニーズハムスターの卵巣を使って培養肉を生産している。

3. 月への輸送手段

(1) 宇宙船

宇宙船については秩父149号（R2年10月）で詳細に説明したので、簡単に紹介する。再利用できないソ連のソユーズ、再利用できるアメリカのスペースシャトル等多数開発されている。さらに経済的なものとして日本のベンチャー企業が開発している単一エンジンでジェット推進とロケット推進ができるベガサスがある。

(2) 宇宙エレベータ

静止軌道上の宇宙基地への輸送手段として宇宙エレベータがある。これも秩父137号（H29年10月）で紹介した。日本の大林組等が2050年実用を目指して開発している。この宇宙エレベーターを延長して月にまで届かないか。

4. 問題点

月には殆ど大気がないので、月の大気や環境を地球に近い状況に変えてしまう「テラフォーミング」を行うのは極めて困難である。従って人間が居住できるのは宇宙基地内に限られるので、大規模の宇宙移住は考えられない。しかし、他の惑星への移住の中継基地としては極めて重要である。また、月には貴重な資源が豊富に眠っている。アルミニウム、チタン、鉄等現地で宇宙基地や宇宙船を製造する場合の原料として貴重である。レゴ

リスという砂があり、それ自身が金属や水素などを取り出すための資源の素材として重要であるが、レゴリス自体を焼き固めてレンガやガラスブロックを作れば、太陽熱を蓄積するための材料や建設資材として使うことができる。

5. 月面基地の建設場所

地球に面する赤道近くでは、半月ごとに昼と夜が交互に訪れるので、夜の半月間はエネルギー供給に問題がある。又裏側は地球と交信しにくいという欠点がある。従って極点近くが最も適していると云われている。

ところが、10年前に打ち上げられた日本の月探査衛星「かぐや」の観測データを分析した結果、月の表面に50kmにも及ぶ巨大な空洞があることを発見した。

この空洞が見つかった場所は、地球に面する表側で月最大の火山地帯「マリウス丘」と呼ばれる場所である。この空洞は火山の溶岩が流れてできたもので、幅100m、高さ数十m、長さ50kmもあり、隕石、放射能、300° 近くなる月面の温度差から、人類を保護することができ、将来は都市を建設するに十分なスペースを提供することができる。

6. 月面基地はいつ頃実現するか

米国のNASAの火星飛行計画は2030年半ばとされている。それに先立ち月面基地を作る計画も含まれている。

又中国では月面基地を2030年には完成すると云われている。

日本のJAXAが発表した長期ビジョン「JAXA2025」では、2025年に日本独自の月面基地を設置するという構想が含まれている。

しかし、これらの構想はいずれも一時的に人が滞在する基地で、常に人が滞在する月面基地ができるのは、おそらく2040～2050頃と予想されている。（続く）

エネルギーシリーズ③ 原子力エネルギー

岡本 祥一
予科5-7
航空16-4
(川口市)



目次
エネルギーシリーズ
Ⅰ 日本におけるエネルギー資源
Ⅱ 発電用エネルギー源
Ⅲ 火力発電 (秩父 148 号)
Ⅳ 再生エネルギー発電 (秩父 149 号)

原子力エネルギー

Ⅰ まえがき

原子エネルギーの源泉は、核反応に伴う質量欠損である。核反応により原子核の質量の一部が失われ、失われた質量がエネルギーに変換される。

質量が失われることによりエネルギーが放出される核反応は2種類ある。一つは、U-235のような重原子の核分裂反応によるものであり、他の一つは、水素等の軽原子核を原料とする核融合反応である。

1905年、アインシュタイン（ユダヤ系ドイツ人、米国に亡命。1879-1955）は特殊相対性理論の帰結として、物質の質量とエネルギーは等価であるとの概念を提出した。質量 m の物質に内在するエネルギー E は光速 c を含む次式でしめされる。

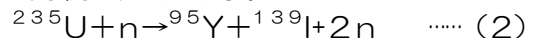
$$E=mc^2 \quad \dots\dots (1)$$

例えば太陽の中心、半径約14万kmの範囲、超高圧、超高温の状況で水素4個が融合してヘリウム原子1個が作られている。ヘリウム原子1個の質量は水素原子の4個分の質量より0.7%ほど軽く、この失われた質量がエネルギーに変換されて膨大な太陽

エネルギーとして放出されている。

太陽の膨大なエネルギーの源泉としての熱核融合反応を地上で実現できないだろうか。可能であれば世界のエネルギー問題は一挙に解決されよう。「地上に太陽を」。この遠大な計画の実現に向けて、世界の知を集めた懸命な努力が現在続けられている。

現在実用化されている原子力発電では、天然ウランに0.7%含まれている「燃える」 ^{235}U の割合を3~5%に濃縮、「燃えない」 ^{238}U も併せて、二酸化ウランの形で燃料棒に加工、 ^{235}U の核分裂による発熱エネルギーを制御する制御棒と組み合わせて炉心が形成されている。多彩な核分裂反応のうち代表的な例を次次に示す。



^{235}U は中性子 n を吸収し、 ^{95}Y と ^{139}I とに分裂する。この式で元素記号の左肩に示した整数、(質量数)は原子核の中に存在する陽子と中性子の和であり、中性子 n を含めて右辺と左辺の質量数は等しい。なお、質量数は質量ではない。

^{235}U の核分裂反応の場合、反応生成物($^{95}\text{Y} + ^{139}\text{I}$)の総質量は、反応前の ^{235}U の質量に比べ、軽くなっている。この質量数と質量の差を質量欠損と呼んでいる。 ^{235}U の核分裂により生ずる質量欠損は、(1)式の関係から核分裂エネルギーとして放出され、熱水として発電装置に送られ、電気エネルギーに変換される。

Ⅱ 核燃料サイクル

燃料棒を構成する「燃えない」 ^{238}U は、「燃える」 ^{235}U の核分裂反応の際に発生する中性子の作用で、「燃える」 ^{239}Pu に変化する。つまり ^{235}U の核分裂を利用する原子力発電では、発電に寄与しない ^{238}U が人の手を加えることなく燃料としてのプルトニウムに変化する。原子炉の中では、燃料が燃えて新しい燃料が作られる、

画期的な仕組みが起きている。原子力発電の一連の核反応で、使用済み核燃料を再処理してプルトニウムを取り出し、改めて原発で燃やす核燃料サイクルはわが国の国策として重視され、取り上げられてきた歴史がある。

使用済み核燃料を処理し、プルトニウムを新燃料として取り出す工場の建設は日本原燃が請け負い、1997年の完成予定であった。しかし、トラブルが相次ぎ24回も作業が延期された。最近、2020年5月、原子力規制委員会が再処理工場について新規規制基準に適合するとの審査書案を了承した。工場の完成に向け大きく前進することになる。ただ、詳細設計の審査や安全対策の工事が残り、原燃が目指す21年度の完成は不透明である。

全国の前発では、大量の使用済み核燃料が再処理工場への搬出を待っている。工場が予定とおり稼働すれば、年間800トンの使用済み核燃料を処理できる。各原発の燃料プールが満杯になる事態を回避できよう。ただ、再処理工場がフル稼働すれば年間約7トンのプルトニウムが新たに取り出される。問題はその使い道がほとんど無いことである。

Ⅲ プルトニウム

プルトニウムを消費するには、高速炉の活用、およびMOXの利用、の二つの手段がある。本命であった高速炉での利用は、ナトリウム漏れ事故を起こした原型炉「文殊」の廃炉で開発が行き詰まっている。「文殊」後継の実証炉を作るめどもない。

一方、ウランとプルトニウムを混ぜた「MOX」燃料を普通の原発で燃やすプルスーマルも広がっていない。現時点で実施しているのは4基だけで、目標の16～18基には遠く及ばず、プルトニウムを大量に消費するのは難しい。今、国内外にある日本のプルトニウムは47トンに及ぶ。その削減が日本の国際公約となっている。

原子力発電で生じたプルトニウムがそのまま原子爆弾に利用できるかのような報道が多く見受けられる。たとえば、5月14日（2020年）の朝日新聞社説では、日本が保有している原子炉級プルトニウム約47トンを「原子爆弾6000発分」と表現している。日本がすぐに強大な核兵器保有国になれると言わんばかりの表現である。筆者はこのような報道に強い疑問を持ち続けていた。

{2018年7月15日朝日新聞社説、秩父；147号、岡本}

原子爆弾級のプルトニウムを入手するには ^{239}Pu を93%程度に濃縮する必要がある。原子力発電炉から排出されたプルトニウムは、核分裂を阻害する ^{240}Pu が20～30%程度含まれており、そのままでは核爆弾は作れない。我が国としては、原子炉級プルトニウムは燃料として再利用するしか道は無いのである。

Ⅳ 原子力発電

^{235}U をエネルギー源として利用する原子力発電は、使用済み核燃料の処理に二つの大きな壁が指摘される。一つは上述のプルトニウム処理の問題であり、ふたつ目は、長期間にわたり放射線を出し続ける有害な放射性物質を大量に処理しなければならない点である。

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故以来、各電気事業者は原子力発電所の一部廃炉あるいは稼働を中断した。その後、原子力規制委員会が設置され、福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、同委員会により原子力発電の新規制基準が制定された。その基準による原子力発電所の現状は、2020年4月現在、再稼働9基、設置変更許可7基、審査中11基、未申請9基、廃炉24基となっている。増設の計画は無い。

現時点で、2030年度の電源構成は、LNG火力27%程度、石炭火力26%程度、再生可能エネルギー22~24%程度、原子力20~22%程度、石油火力3%程度を目指している。政府、経財界は原子力発電を20%台に保ちたい意向のようである。

IEAのF、ピロル事務局長は委員会挨拶のなかで、「原子力発電は他の従来型発電技術とともに電力の供給セキュリティ上、重要部分を担い続けるにも拘わらず、先進国での近い将来、大幅に増加する見通しは暗い」と指摘。世界的に原子力発電の前途は暗いようである。また化石燃料を使う火力発電の衰退も無視できない。日本の政府の対応策としては核融合発電の開発が有力な候補であろう。核融合発電の実現は今世紀半ば以降である。

わが国の2030年度までのエネルギー将来像を定めた「エネルギー基本計画」では、今後、原発依存度は可能な限り低減させていくということがうたわれている。そのために、再生可能エネルギー（再エネ）の導入拡大はもちろん、火力発電所を効率化して温室効果ガス排出を抑えつつ発電量を増やす取組、また省エネルギーをさらに追求して電力需要量を減らすなどの取組が進められつつある。

V 核融合発電—ITER開発計画

1985年、ジュネーブで行われた米ソ首脳会談をきっかけとして、平和利用のための熱核融合研究の重要性が認められ、実用化に向けて国際協力への合意が成立した。この合意に基づき、1988年、核融合開発計画策定が日本、米国、ロシア、EUにより開始され、強力な磁場で燃料を閉じ込め加熱するトカマク方式を基本としたITER（イーター：International Thermonuclear Experimental Reactor＝国際熱核融合実験炉の基礎設計）が進められた。2007年10月、ITER協定の発効を迎え、フランス、カラダッ

シュに実験炉、ITERの建設が開始された。その間中国、韓国、インドが参加、合計7ヶ国、世界人口の半分を占める国による大きなプロジェクトとなっている。

当初の全体計画としては建設に10年、運転に20年、解体処理に5年、計35年の期限となっている。最近の発表では2025年、実験炉工事完了を目指して作業が進められており、2020年初頭現在、約70%進捗のことである。この壮大なプロジェクト、本格稼働までの総事業費は約200億ユーロ（約2兆6000億円：1ユーロ＝130円で計算）と巨額である。日本の負担は建設段階で9%、運転期には13%となる予定である。

現在建設しているITERは「実験炉」であって、発電はしない。核融合エネルギー利用の科学的、技術的実証を行い、その後、「原型炉」で発電実証段階に入る計画である。核融合炉を実用化するためには「実験炉」「原型炉」「実証炉」を段階的に建設して研究を行い、その成果を踏まえて発電を行う「商用炉」を建設する段取りになっている。現時点での計画では、発電は2050年代に実現できる見通しである。

VI 核融合炉の燃料

a) 重水素(Deuterium)

燃料となる水素には質量数が1の軽水素（Hydrogen:H）、質量数が2の重水素（Deuterium:D）、質量数が3のトリチウム（Tritium:T）が同位体として存在する。これら三種の水素核融合反応の組み合わせ、H-H、D-D、T-T、及びH-D、H-T、D-T等のうち実現の可能性の最も高いと考えられている組み合わせはD-T反応である。

重水素：Dは天然水中に重水D₂Oとして0.015%程度含まれている。資源としてはほぼ無限と考えてよいであろう。そして軽水素：Hのほぼ2倍の質量があるため重

水D₂Oの密度は約10%程度大きく、沸点も101.4℃、氷点は3.8℃と物理的性質が異なり、化学的性質例えば反応速度や平衡定数なども異なる。これらの物性値の違いを利用して重水と軽水を分離することができる。

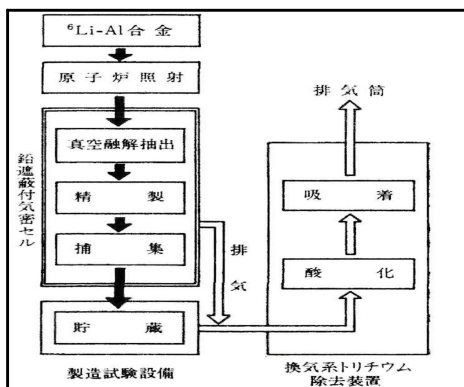
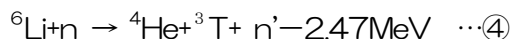
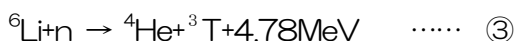
例えば沸点の差を利用して蒸留による濃縮分離、或いは交換反応法、電解法などを組み合わせて濃縮が可能である。また、電解法では、あらかじめ70%程度に濃縮されている重水素水を電気分解すれば、100%の重水素：D₂を製造することができる。

なお、わが国では、2018年まではD₂全量を輸入に頼っていたが、ここに来て国内で生産される運びとなっている。このような次第で、重水素、D₂は高価ではあるが、市販品として入手可能である。これに対して、トリチウム、Tは天然にはほとんど存在しない。人工的に製造する必要がある。

② 三重水素(Tritium)

トリチウム：T₂の製造は米国、ソ連、フランスなどで、水素爆弾の原料として既に1950年代前半に開始されており、かなりの量が蓄積されていると推定されている。しかし、軍事面での制約から、技術情報の入手は困難な状況にあった。これに対して、わが国の原子力研究所では、核融合開発研究の一環として1980年代にトリチウム製造研究に着手し、1985年代には本格的な製造試験に移行した。

第1図にその製造工程を示す。リチウム－アルミニウム合金(Li-Al)を原子炉内で中性子(n)照射する。③及び④の核反応によりトリチウムが合金の中に作られる。

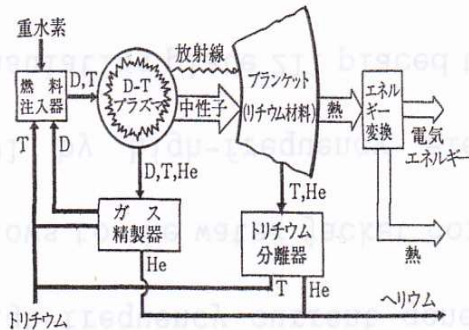


第1図 トリチウム製造工程

真空中で合金を加熱融解(700℃)すれば、トリチウムはヘリウムとともに気体として放出される。続いて粉末ウランを充填したゲッタを通して精製、捕集の工程を経て貯蔵される。

上記のほかに、トリチウムを取り出す有力な手段がある。D-T核融合炉からエネルギーを取り出す過程で、トリチウム製造が可能であり、その量を適当に選べばトリチウムの自己充足が可能となる。つまり、トリチウムは最初に核融合炉を起動するために必要な量だけでよいことになる。

第2図にD-T核融合炉全体の概念図を示す。炉内で発生するエネルギーの80%は高速中性子の形で、融合炉を取り巻くブランケットに送り込まれる。ブランケット内にチタン酸リチウムや酸化リチウムなどリチウムを含む物質を予め挿入しておく。リチウム成分は高速中性子との反応(③及び④)によりトリチウムとヘリウムに変化する。トリチウムは分離機を通して融合炉に燃料として送り込まれる。



第2図 D-T核融合炉概念図

将来の定常状態核融合炉では1 GWの熱出力あたり、150 g/day のトリチウムが消費される。システムとしてトリチウムの自己充足を図るためには、定常状態の消費以外にブランケットの構造材、冷却配管材等のトリチウム吸収効果等による損失を考慮し、消費量(150 g/day)より多い、増殖率として1.1程度の生産、補充が必要と考えられている。

トリチウムは3種類ある水素の同位体であり、放射線の一種であるベータ線(電子)を放出するが(半減期は12.3年)そのエネルギーは非常に弱く、水と同じように新陳代謝などにより排出され、人間の体に蓄積されることはない。

D-T核反応により放出された高速中性子は、自身と同じ程度のごく小さな元素の原子核に反応する傾向が強い。このため、高速中性子のエネルギーは、ブランケット内を流れる高圧冷却水の水素原子や酸素原子、それにリチウムに吸収される。高速中性子のエネルギーを受け取った高温、高圧の冷却水は炉外で直接かまたは熱交換器(蒸気発生器)を通じて発電機を回し、電気エネルギーに変換される(第2図)。

トリチウムの原料としてのリチウムは海水中に0.17%程度含まれており、これを効率よく回収すれば資源として事実上無限(約2,000万年)といえる。

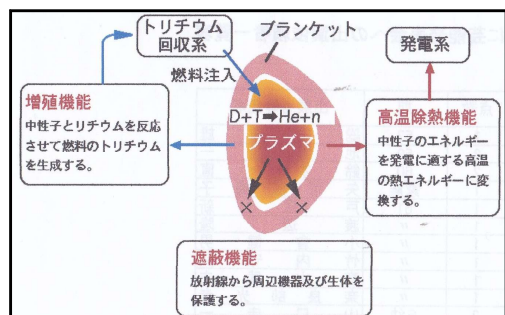
VII トカマク

核融合反応の実現には、高温、高密度のプラズマを利用する。物質を加熱すると、固体から液体に、さらに気体にと状態が変化する。さらに加熱すると、気体の分子は原子に分解される(解離)。さらに温度を上げると原子は正の電気を帯びた原子核イオンと電子とに分解される(電離)。これらに加えて気体の原子や分子などがごちゃになって存在している状態をプラズマと呼んでいる。

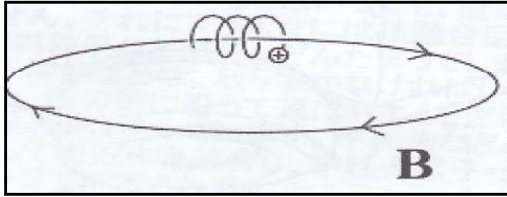
自然界のプラズマには、太陽、太陽風、極地の空を彩るオーロラ等がある。また宇宙全体で考えると固体、液体、気体に比べてプラズマの占める体積は圧倒的に大きく全体の98%以上がプラズマであると言われている。

すでに述べた様に(秩父;115号、平成24年4月)、一口に核融合といっても様々な種類がある。その中で最も実用化に近いといわれているのが強力な磁場でプラズマを閉じ込める「トカマク」方式であり、現在建設が進行中のITERはこの方式を採用している。

荷電粒子の集合体であるプラズマに磁場を加える。荷電粒子は磁場から力を受け、磁力線に巻き付くように運動する(第4図)。

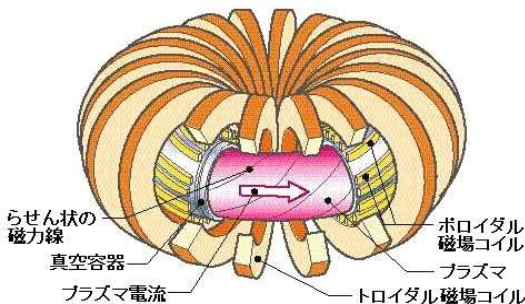


第3図 トカマク型融合炉の断面図



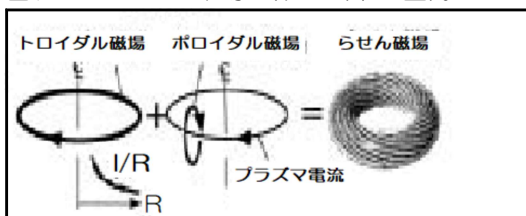
第4図 円形磁場に巻き付く荷電粒子

磁場を円形にすれば、荷電粒子は磁力線に沿ってぐるぐるといつまでも同じ軌道を回り続けようとする。トカマクの真空容器がドーナツ状になっているのもここに理由がある（第5図）。円形磁場はドーナツ状の核反応容器を囲んで超電導巻線をコイル状に配列すればよい。第5図にトロイダル磁場コイルとして示されている。



第5図 融合炉の模式図

このような配位をトラス型と呼んでいる。ただトラス型の磁場はドーナツ状の容器の中心から外側に行くにつれて弱くなり、プラズマの分布が広がってしまう。これを防ぐために、プラズマ電流によるトロイダル磁場に加えて同じ向きに磁場を生じるポロイダル磁場コイルを装着する。ポロイダル方向の磁場とトロイダル磁場とを合わせてらせん磁場を作る（第6図）。



第6図 らせん磁場の成り立ち

らせん磁場によりプラズマは反応容器の壁に接触することなく、中心部分に集中、核融合反応が進むことになる。

VIII 核融合のリスク

原発では、ウランに中性子が衝突して分裂したときに、エネルギーが生み出される。そのときに新たに中性子が飛び出し、再びウランにぶつかるという具合に、連鎖的に反応が続く。連鎖反応の暴走を抑えるために慎重な制御が重要である。核融合発電の場合、D-T反応で発生した中性子は、直ちに反応系を取りまくブランケットに飛び込みD-T核反応に関係しなくなる。このため連鎖反応は起きず、暴走はしないと考えられている。また、燃料のプラズマを1億度という「高温」に加熱し、 1cm^3 に 10 兆個という「高密度」にする必要があり、何かトラブルがあればプラズマがすぐに消えて反応が勝手に止まり、危険はない。

核融合発電にかかわる放射性物質は、燃料の「トリチウム」と、核反応により発生した中性子によって「放射能をもつようになった核融合炉」である。汚染された核融合炉は、装置そのものなので、放射性物質が拡散するリスクは低い。

燃料としてのトリチウムは気体なので、何らかの要因で拡散する恐れがないとは言いきれない。トリチウムは β 線を放出する。 β 線の正体は、原子核の中から勢いよく飛び出てきた「電子」である。電子線は一般的に衣服や皮膚で容易に遮られるので、「外部被ばく」のリスクは小さい。体の中に取り込まれたトリチウムは、おもに2つの形態を取る。ひとつは酸素と結合して水ようになる「水トリチウム」、もうひとつは有機物と結合する「有機トリチウム」である。水の場合は10日、有機物の場合は40日ほどで体内から放出され半分になる。トリチウムからの β 線自体は周囲の物質により簡単に吸収され

るので、内部被ばくによるリスクは弱いと考えられている。総合して核融合発電は、現在使用されている原発に比べて、はるかにリスクは少ないと判断できる。

IX 核融合発電の利点

核融合の利点とされている項目を列挙する。

1. 豊富な資源：

燃料となる重水素は海水中に豊富に存在し、また三重水素を得るためのリチウムも入手容易である。

2. 固有の安全性

核融合反応は暴走しない。核分裂反応と比べて安全対策が比較的容易である。

3. 環境保全

発電の過程で二酸化炭素を発生しない。
高レベルの放射性廃棄物が発生しない。

X あとがき

核融合発電実現のため世界的規模で現在研究開発が進められている。数十年後の成果が待ちどしい。

その成果に基づき、更に発電装置の開発プロジェクトが発足する。核融合発電が実現し得るのは四半世紀以上先の話となる。我々としては草葉の陰から見守るしかすべは無いのである。しかし将来の人類の滅亡を救う重要手段としてその実現が強く求められていることは言うまでも無い。(2020年7月脱稿)

我が国の空の守りは大丈夫か(Ⅷ) 電子戦兵器

川島 順 予科21-7
(越谷市) 航空7-1

目次

- (I) ナイキからイージスアショア(秩父140号)
- (II) 巡航ミサイル(秩父141号)
- (III) ジェット戦闘機①(秩父142号)
- (IV) ジェット戦闘機②(秩父143号)
- (V) ジェット戦闘機③(秩父144号)
- (VI) ジェット戦闘機④(秩父145号)
- (VII) ジェット戦闘機⑤(秩父147号)

電子戦兵器

はじめに：

秩父140号(平成30年7月)から秩父147号(令和2年4月)まで、「我が国空の守りは大丈夫か」シリーズをⅠ～Ⅶ迄連載してきた。今まではミサイルや航空機等在来兵器の発展の課程を追ってきたが、最近、防衛省の予算要求等で電子戦の話題が急増してきた。

令和2年度の防衛省予算によれば、従来の領域における兵器、航空機、艦艇、ミサイル等の能力の強化以外に、宇宙、サイバー、電磁波の領域における兵器の獲得・強化を強調している。

宇宙領域における能力の強化については、秩父147号(令和2年4月)、148号(令和2年7月)において、宇宙シリーズⅣ、Ⅴ「宇宙と軍事①②」と題してその概要を述べているので、本稿では、サイバー領域及び電磁波領域につて述べることにする。

1. 我が国におけるサイバー領域における能力強化

外国のサイバー攻撃に対する日本における防御の能力は極めて脆弱である。

近年日本が受けたサイバー攻撃の事例は枚挙に暇がない。一例を挙げれば：

- ① 2011年9月、三菱重工業で潜水艦、ミサイルや原子力プラントを製造している工場のコンピュータがウイルスに感染し文書ファイルが流出した。中国によるスパイ活動によるものと思われる。
- ② 2016年11月、防衛医大のパソコンを通じて、自衛隊の通信ネットワークがサイバー攻撃を受ける。
- ③ 2017年5月、データ復旧と引き換えに見代金を要求する「ワナクライ」と呼ばれるウイルスによる被害が世界各国で発生。米国は北朝鮮の犯行と発表。
- ④ 2020年1月、三菱電機から防衛装備品の情報が流出。中国系ハッカー集団の犯行と見られている。
- ⑤ 2020年6月、ホンダが攻撃を受け、北米やトルコなど世界4地域の生産拠点の工場の稼働が停止した（読売新聞令和2年7月27日から一部引用）。

以上のように、日本はサイバー攻撃に対して極めて脆弱である。これに対処するために、サイバー防衛隊の強化を次のように進めている。

(1) サイバー防衛隊の態勢強化

陸上総隊の隷下のサイバー防護隊を新設、隊員を220名から290名に増員する。

(2) サイバー情報収集装置の整備

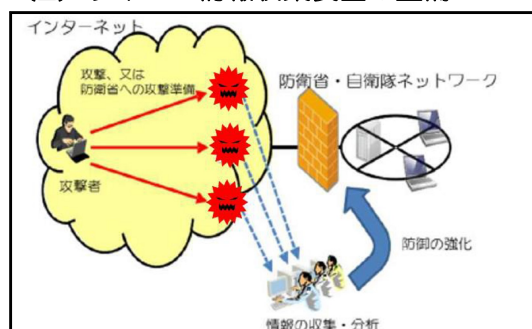


図1 サイバー情報収集装置

図1のようなサイバー情報を収集・分

析するグループを自衛隊内に設け、AIを活用して不正メール等の自動判別や脅威度の判定を行い、自衛隊ネットワークを保護している。

(3) サイバー人材の確保・育成

①自衛隊内の陸自通信学校や高等工科大学において専門コースを設け、専門家を育成する。

②民間人を対象としたサイバーコンテストを実施して、高度なサイバー人材を発掘する。

③米国防大等に担当官を派遣して、サイバー戦指揮官要員の教育を行う。

2. 電磁波領域における能力強化

A. 諸外国における電子戦兵器の実情

電子戦兵器の主なものは、高出力レーザー兵器、高出力マイクロ波（HPM）兵器、電磁パルス（EMP）兵器がある。

高出力レーザー兵器は各国で実用化されすでに軍隊に配備されている。

米国では、2020年5月、米国海軍輸送揚陸艦LPD27Portlandがドローンに対する射撃実験において撃墜に成功した報じられている。このレーザー兵器はノースロップグラマン社が開発した出力150kwの半導体レーザー砲である。米国防省の報告では2022年までに300～500kw、2025年以降は1MW級レーザーを水上艦艇に搭載する計画があるとのこと。

これに対して、ロシアでは2018年レーザー兵器「ペレスヴェート」を実戦配置したとプーチン大統領が述べている。

中国では、2020年2月、グアム沖の公海上で米海軍P8A哨戒機に対して中国駆逐艦から軍用レーザーが照射され、米国が中国に抗議をした事実がある。

マイクロ波（HPM）兵器は、照射した電磁波が電子機器のアンテナや接続信号

ラインから侵入して相手の電子素子を破壊し、ドローンやミサイルの機能を麻痺させるものである。

米国空軍は「フェイザー」と称するHPMをすでに実戦配置したと報じられている。

一方、ロシア及び中国は人工衛星を攻撃できるHPM兵器を開発していると云われている。

電磁パルス（EMP）兵器は、核爆発によって巨大な雷を瞬間的に広範囲に発生させ、地上の発電所やミサイル発射台等の総ての電子機器を無力化させるもので、北朝鮮では、2017年、金委員長がEMP攻撃用の多機能弾頭搭載可能なICBMの水爆実験に立ち会ったと報じられている。

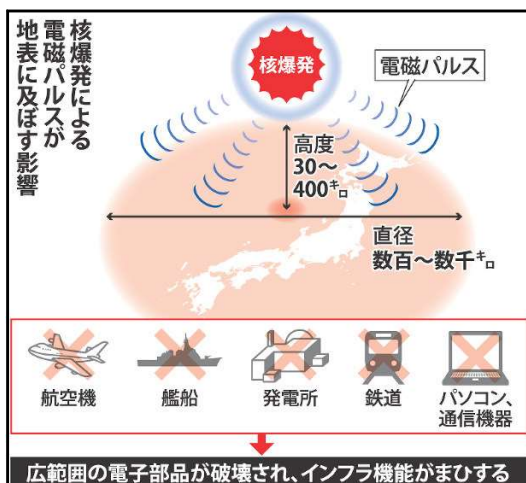


図2 核爆発電磁パルス攻撃の威力 毎日新聞

このように核爆発による電磁パルス兵器は高高度電磁パルス（HEMP）兵器と呼ばれている。

ロシアでもソ連時代から、HEMPの脅威を認識し、HEMP被害調査を目的とした核実験を中央アジア上空で何度も実施している。それに続いて中国、北朝鮮までHEMP兵器開発に乗り出してきた。

B. 日本における電子戦兵器

日本でも「平成28年度中長期技術見送り」において、ゲームチェンジャーにな

りうる高出力エネルギー技術への取り組みが掲げられ、高出力指向性マイクロ波、EMP弾、電磁加速システムに関する技術研究が行われてきた。

令和2年度予算では、敵のレーダー、ミサイル、無人機等を無力化する装備の研究・開発費として特に次のテーマが挙げられている。

（１）スタンドオフ電子戦機の開発

スタンドオフ電子戦機とは敵の対空兵器の射程外から一方的に攻撃できる能力を持った電子戦専用の航空機のこと、敵の対空兵器を無力させる装備としては、後述④の高出力マイクロ波兵器を搭載している。

当面はF15の改良、電子戦能力のあるF35Aの導入等を考えている。

（２）ネットワーク電子戦システムの整備

現行の電子戦システムの後継機として開発されたもので、敵の電子情報を収集・分析するシステムと敵の電波を妨害するシステムを一元化し、電波の収集・分析及び敵通信の無力化をするとともに、自軍の電子戦装置に対する指揮統制、他システムとの接続の機能を有するシステムで、図3に示すように陸上自衛隊が車載用として開発している。



図3 ネットワーク電子戦システム

（３）高出力レーザー兵器

高出力のレーザー光を一点に集中させてドローンやミサイルをその熱で焼き切り破壊させるもので、仮に北朝鮮が発射したマッハ20を超えて飛来する弾道ミサイルをPAC3が仰撃に失敗しても、光速で照射できるメガワット級の高出力レーザーで捕捉すれば、照準と同時に破壊することができる。

高出力レーザー兵器は図4に示すように艦艇や移動車両に搭載できる。

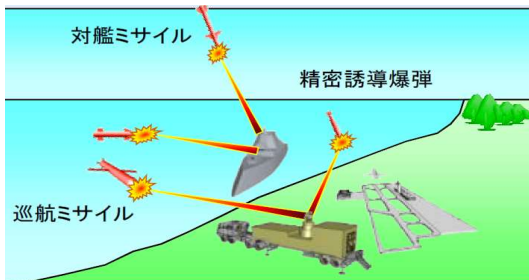


図4 高出力レーザー兵器

（４）高出力マイクロ波（HPM）兵器

図5に示すように飛行機、艦艇、地上の移動車両からマイクロ波の電波を高出力で照射して、無人機やミサイルなどの電子機器を破壊して誤動作を起こさせる。

このHPM兵器の鍵となる技術は、小型化と高速ビーム走査が可能なアクティブ・フェイズドアレイ方式である。この方式は同時多目標・飽和攻撃に対してスキャンすることにより、同時に多目標を照射して無力化させることができる。

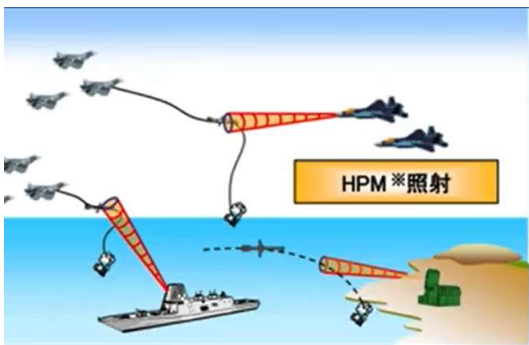


図5 高出力マイクロ波（HPM）兵器

さらに小型化を図ることにより将来は航空機や無人機への搭載を目指している。

（５）電磁パルス（EMP）兵器

日本では核兵器を持たない国となっているので、核爆発による電磁パルス兵器の開発は行っていない。

しかし、核爆発によらないEMP弾の研究と電磁パルス攻撃に対する防御方法についての研究は行っている。

図6に示すEMP弾は高性能爆薬と化学反応を組み合わせる極めて強力な強磁界を作り、その中に強磁性体を通す等の原理により、瞬間的にHPMを発生させて爆発範囲内の総ての電子機器に一瞬にして不可逆的な被害を与える。しかし、範囲内に存在する人体には何ら影響を及ぼさない。

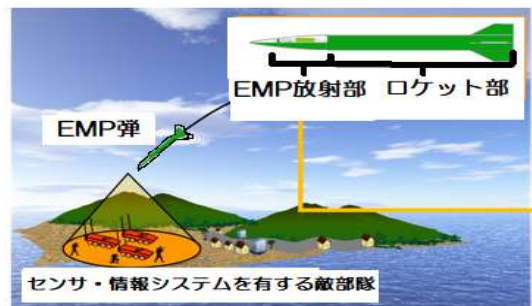


図6 核爆発によらない電磁パルス（EMP）兵器

読売新聞によれば、海自幹部学校の未来戦研究所に属する幹部はホームページ上のコラムで将来の戦闘をこう予想している。「大挙飛来するミサイル、ドローンに強力なHPMミサイルを撃ち込み、一瞬で無力化できる。」「侵攻してくる艦隊や海上民兵船団の上空にてHPMミサイルを用いれば船団はただの鉄の箱と化す。」自衛隊内では「電子戦は人を殺す兵器ではないので、日本人向きだ。」と活用拡大に期待する声が上がっていると報じている。

シベリア抑留のトルコ兵 を救出した津村諭吉中佐

川島 順 予科21-7
(越谷市) 航空7-1

今回は、第一次世界大戦後に1000人を超えるトルコ人捕虜を救った、津村諭吉中佐の話を紹介します。

日本とトルコの友情物語としては、エルトゥールル号遭難事件が有名である。これは1890年（明治23年）に日本に表敬訪問に訪れたオスマン帝国（現トルコ：以下トルコと呼称する）の軍艦が紀州沖で難破し乗員約600人中69名を地元の人たちが嵐の中で救助した話で、映画や各種の読み物として紹介されている。

1. 津村諭吉中佐の功績

一方、津村諭吉中佐の話は余り知られていない。この事件は平明丸事件と呼ばれ、第一次世界大戦中コーカサス前線で6万5千人のトルコ軍の兵士がロシアの捕虜になった。1918年、日本軍のシベリア出兵時、ウラジオストックを占領した日本軍はトルコ軍捕虜への責務を引き継いだ。

第一次世界大戦後に日本はシベリアの収容所に収容されていたトルコ兵1012人とその妻19、子供17人をトルコに送還するため、日本の輸送船、平明丸でイスタンブールに輸送することが決定された。1921年2月23日にトルコ兵を乗せた平明丸はウラジオストックを出発した。

しかし、イスタンブールへ到着する直前、平明丸はエーゲ海の沖でトルコ軍と対立していたギリシャ軍に拿捕された。

ギリシャ軍はトルコ兵の引き渡しを要求したが、平明丸の司令官、津村中佐はそれを拒否したため、平明丸はギリシャ軍

に長い間抑留されてしまった。食料が少なくなっていく中、津村中佐と日本の乗組員はトルコ兵と共に船内に立て籠もりギリシャ軍に抵抗し続けた。

数ヶ月後、イタリアの仲介案により、1921年10月18日平明丸はイタリア領アシナラ島でイタリア側にトルコ兵を引き渡すことになり、日本の乗組員とトルコ兵はそこで別れたが、トルコ兵が最終的に祖国に戻ったのは、1922年6月25日であった。

2. 津村中佐の功績トルコ新聞に掲載

2020年2月16日のトルコ新聞「Hurriyet（平和）」に「我々は津村のことを決して忘れていない」と題して、津村諭吉中佐の功績を紹介している。



トルコ新聞の津村中佐と平明丸

3. 平明丸事件のトルコの映画上映

2019年トルコで平明丸事件のドキュメンタリー作品が製作された。このドキュメンタリーはトルコ人女性映画監督のハイリイェ・サバシュチュオールにより

制作された。題名は「平明丸 母国トルコへ帰るとき」。

このドキュメンタリーの上映会が2019年11月4日、ユヌス・エムレ・インスティテュート東京で開催された。翌日エルトゥールル号遭難事件の地元の和歌山県串本町で上映された。



映画のポスター・平明丸と船上のトルコ兵

4. 津村諭吉通りイスタンブールに誕生

2019年、トルコの最大の都市イスタンブールに津村諭吉中佐の名前が冠された「YUKICHI・TSUMURA」通りは、海辺沿いのベイコス区に誕生した。全長1.3kmと短いが近くにトプカプ宮殿がある風格の高い場所である。

津村通りの設置はベイコス区議会及びイスタンブール市議会で全会一致で2019年1月承認された。



津村諭吉通り FNN プライムオンラインより

2020年3月3日、日本の西牧総領事はベイコス地区のムラト・アィドゥン区長を訪問し、謝辞を述べた。

事務局だより

◎世話人会・委員会報告

(1) 埼玉陸士60期生会の活動停止

秩父150号記念特集が令和3年1月に発行された。その巻頭に「秩父150号記念特集発刊に当たって」と題した小山内昭三代表の声明があるように、秩父150号の発刊を機にして、会としての活動を停止することとなりました。

しかし、秩父の発行はその後もボランティアとして継続いたします。

(2) 秩父の発行

秩父151号は従来通り紙の小冊子として令和3年4月に発行いたします。

しかし、秩父152号以降は紙での発行を中止し、電子媒体のPDF版として発行いたします。但し、発行時期は年4回を目標としますが、原稿の集まり状況に応じて不定期発行といたします。

最近同期性の原稿が減ってきましたので、是非、原稿の提供をお願いします。なお、電子版の配布は、メールアドレスを登録された方のみに行いますので、まだ、登録されていない方は、

「はやぶさ国際特許事務所」のメールアドレス：hayabusa@fc4.so-net.ne.jp 川島順

にメールアドレスを送信してください。

(3) 振武台観桜会

本年度は振武台観桜会は開催できないと朝霞駐屯地から連絡がありました。

【会員の消息】

訃報

★高橋英正君（予科28-10、航空1-1）さいたま市、平成30年12月4日死亡、ご遺族娘量子様。

謹んでお悔やみを申し上げます。

【将校集会所】

☆下記の会報等の寄贈を受けました。

＊埼玉偕行会だより第14号(R2年12月)

＊かごしま偕行会報第81号(2月)

【ご寄付】

☆鳴海 栄君(28-9 岡山赤磐市) 10,000 円

☆大川 吉昭君(23-9 川崎市) 5,000 円

ありがとうございました。

秩父149号150号に対し多数の方々から礼状、感想等を頂く。

◆大川吉昭君(23-9 川崎市)…宇宙、エネルギーシリーズなど簡潔に要点がまとめられ解りやすい名文。ウクライナの繋がりは初めて知りました。情報戦に弱い日本により刺激。樋口中将の功績については、根本中将、小川三郎中佐・…とともに子等に伝えたい事柄。サイトの「秩父」目次集も素晴らしい。気がかりは継続。…

【編集後記】

◆宇宙移住、月への移住も夢ではなくなった。技術進歩の速度には驚くばかりである。

◆核融合原子力も実現の可能性が現実のものとなりつつある。しかし、我々の生存中には無理かも。

◆我が国の空の守り、電子戦兵器が主役になりつつある。各国に遅れを取らないように頑張ってもらいたい。そのためには国民の理解を得ることが先決である。

◆津村諭吉中佐の英断、トルコとの絆を深める話題になってもらいたい。

令和3年の歩こう会の予定表は昨年12月の埼玉偕行会だより第14号で、令和3年4月から開始すると公示しましたが、コロナの影響がまだ収まりそうもないので、半年ずらして、本年9月より下記のように開始することにいたしました。奮ってご参加下さい。

令和3年埼玉60“ゆっくり歩こう会”予定表

まとめ役：竹下泰(陸自70)、黒澤利光(陸自76)

実施月日	集合場所	コース (見所)	担当
9/20(日) 11時	西武線航空公園駅	航空公園から防衛医大(防衛医学研究センター)	竹下
10/18(日) 11時	JR 山手線高輪ゲートウェイ駅(出口別示)	高輪ゲートウェイからゲートシティ大崎へ	黒澤
11/28(日) 11時	JR 埼京線 目黒駅 出口1(五反田寄り)	恵比寿方面(目黒駅一池田山公園一東京都庭園美術館一恵比寿ガーデンプレイス)	川島

【携帯電話】 小林武一 090-9209-7103 竹下泰 090-7748-1810
黒澤利光 04-2964-7084 川島 順 090-2153-2335