

# 明解！ 超伝導電磁エンジン

初めての方に

久保田英文著

超伝導電磁エンジンの厳密な理論と詳しい構造について知りたい方は、「運動量秩序の研究」をご覧ください。また、合わせて「補足説明」もご覧ください。

「明解！ 超伝導電磁エンジン」のより詳しい説明と補足説明、UFOのような飛翔体については、「分かりやすい超伝導電磁エンジン」をご覧ください。

超伝導電磁エンジンが社会と宇宙開発に与える影響や新型有人宇宙船、高性能無人探査機、高性能飛行機については、「無反動推進の人類社会への影響」をご覧ください。

超伝導電磁エンジンを装備したエアカー、エアバイクについては、「超伝導電磁エンジン小型化レポート」をご覧ください。

Copyright © Hidefumi Kubota 2007

All Rights Reserved

図 1 超伝導電磁エンジンの基本構造と  
通常の電磁石の機能（矢印）

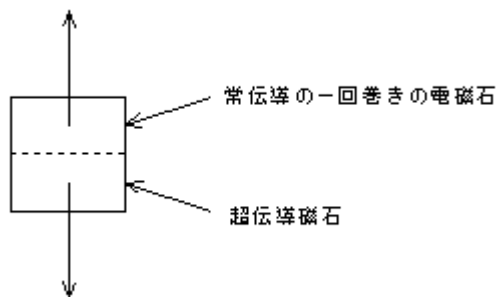
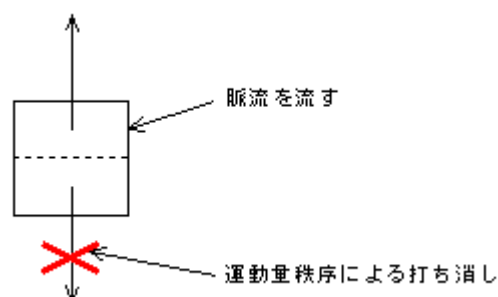


図 2 超伝導電磁エンジンの特徴的機能  
（赤色の×印）



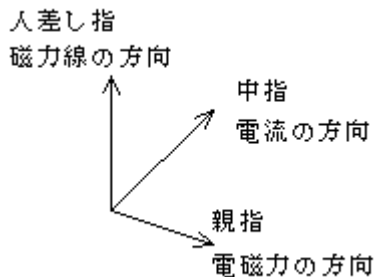
まず、超伝導電磁エンジンの構造と特徴を説明します。超伝導電磁エンジンは電磁石（電線を輪の形に巻いて電流を流すもの）二つを重ねたものです。その二つの電磁石の中の一つは、一回だけ巻いた常伝導の電磁石です。もう一つは、超伝導磁石です。二つの電磁石は離れないように固定します。常伝導磁石には、ある特殊な電流を流します。超伝導磁石は超伝導状態となるので永久電流が流れます。

次に、超伝導電磁エンジンを離れて、普通の電磁石を二つ重ねて固定した装置を机の上に置いて電流を流した場合を考えてみましょう。電流を流したので磁場が発生し、二つの電磁石の間には磁力が働きます。一つの電磁石に働く磁力ともう一つの電磁石に働く磁力は作用・反作用の法則に従い、同じ大きさで方向が反対のはずです。一つの装置に同じ大きさで方向が反対の力が働くので、この二つの力は打ち消しあい、この装置は当然、動きません。しかし、もし何らかのメカニズムによって二つの磁力の中の一つが打ち消されると同様の効果が生じるならば、どうなるでしょうか。すると、この装置には、一方向の磁力が働きます。この装置には、ある大きさの力が一方向に働くこととなります。この力の方向が上向きで、装置に働く重力よりも大きければ、この装置は上に向かって、運動します。重力に反して上方向に運動するので、反重力装置が実現したこととなります。

このように、二つの磁力の中の一つが打ち消される効果が生じるメカニズムが、超伝導電磁エンジンに働くのです（図 2 の×印）。しかし、それは、作用・反作用の法則に反し、あり得ないことだという反論が当然、考えられます。ところが、超伝導電磁エンジンは、作用・反作用の法則に従った上で、このようなメカニズムを生じさせるように工夫した発明なのです。

そんなことができるのだろうか。当然、そう思われるでしょう。これから、そのメカニズムについて説明します。

図 3 フレミング左手の法則



まず、磁場中に電磁石を置いて電流を流したときに、電子に働くローレンツ力と電磁石に働く磁力の関係について説明します。電磁石には電流が流れているので、磁場中を多数の電子が運動しています。その中の一つ一つの電子には、ローレンツ力が、フレミング左手の法則に従って働きます。このローレンツ力によって電子は動かされます。ちなみに、ローレンツ力の強さは磁場の強さと電子の運動速度に比例します。電子は、フレミング左手の法則に従い、電流の流れる方向に垂直な方向に力積（力×時間）を受けて、その方向の運動量（質量×速度）を持ちます。電子がある時間の間、力を受けて、その力が運動量（質量×速度）に変わります。また、電流が流れているので、当然、電子は電流が流れる方向の運動量も持っています。二つの方向の運動量の中、電流が流れる方向の運動量が電流の実体です。もう一つの電流の流れる方向に垂直な方向の運動量が磁力の源です。電子は、この垂直な方向の運動も行い、電磁石の材料にぶつかります。この時に、電子の運動量が、電磁石の材料に働く力となります。電子一つ一つがローレンツ力を受けているので、各々の電子が材料にぶつかって、材料に力を働かせます。この各々の電子が材料に働かせる力の総計が電磁石に働く磁力の実体です。

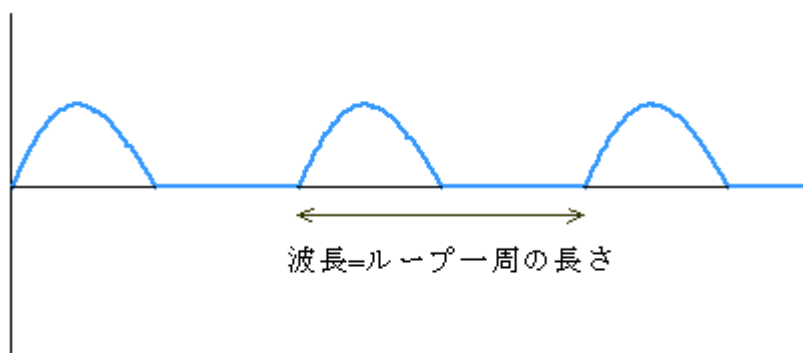
この磁力の説明を前提にして、超伝導電磁エンジンのメカニズムを説明します。超伝導電磁エンジンを構成する二つの電磁石に流れる電流を構成する電子にも、当然、ローレンツ力が働きます。二つの電磁石の中、常伝導の電磁石に流れる電流を構成する電子に働くローレンツ力が元になって、この常伝導の電磁石には磁力が働きます。これが、超伝導電磁エンジンの推進力となります。もう一つの電磁石、超伝導磁石に流れる永久電流を構成する電子にも作用・反作用の法則に従ってローレンツ力が働きます。このことは、普通の電磁石の装置と変わりありません。ですから、超伝導電磁エンジンは、作用・反作用の法則に反しません。ですが、このままでは、ローレンツ力を元にして磁力が発生します。ローレンツ力が運動量に変化し、それが超伝導磁石の材料に力を与えて、磁力が発生します。しかし、超伝導磁石にはそれを妨げるメカニズムを働かせることが可能なのです。電子に働くローレンツ力が運動量に変化することを妨げるメカニズムを働かせることが可能なのです。このメカニズムを組み込んだ発明が超伝導電磁エンジンなのです。

電子に働くローレンツ力が運動量に変化することを妨げるメカニズムを説明する前に、超伝導磁石を流れる永久電流について説明します。永久電流を構成する電子は電子対を構成します。そして、構成された各電子対すべての重心運動の全体としての運動量の大きさは同じです。超伝導状態である限り、電子対が構成され、その電子対すべての重心運動の全体としての運動量の大きさは同じです。専門的に言えば、超伝導状態においては、ボース・アインシュタイン凝縮が成立していると考えられるということです。言い換えれば、超伝導状態においては、永久電流を構成する電子対の重心運動の運動量の大きさは同じでなければならない、各電子対の重心運動の運動量の大きさが変化する場合も同じ大きさから同じ大きさに一斉に変化しなければならないということです(運動量秩序)。裏返して言うと、各電子対の重心運動の運動量の大きさを一定にするために、各電子対の重心運動の運動量の大きさが変化する場合も同じ大きさから同じ大きさに一斉に変化させる規制が働くということです(運動量秩序の規制)。

超伝導電磁エンジンにおいては、この運動量秩序の規制が働いて、各電子対に働くローレンツ力が運動量に変化することを妨げるメカニズムが作動するのです。このことを超伝導電磁エンジンにおいて、確かめてみましょう。

まず、常伝導の電磁石に電流を流す前、既に超伝導電磁エンジンの超伝導磁石は、超伝導状態にあり磁石として機能しているとします。この時、超伝導磁石には永久電流が流れていて、永久電流を構成する電子対の電流が流れる方向に、各電子対はすべて同じ大きさの運動量を持った状態にあります。この超伝導電磁エンジンの常伝導の電磁石に電流を流してみます。

図 4 脈流波形 (青色の線)



次に、超伝導電磁エンジンを構成する常伝導の一回巻の電磁石に流す電流について説明します。この電流は、脈流です。脈流は交流を整流して一方向にだけ断続的に流れる電流のことです。しかも、この脈流の波長が輪の一周の長さ(超伝導磁石の一周の長さ=常伝導の電磁石の一周の長さ)と同じ長さに一致する程度の高周波数のものを流すこととしま

す。計算すれば超短波電流程度の周波数となります。この脈流の作る磁場が、超伝導磁石を流れる永久電流に電磁力を働かせます。すなわち、永久電流を構成する電子対に、ローレンツ力を働かせます。

超伝導電磁エンジンを構成する常伝導の電磁石を流れる脈流が作る磁場について考えてみましょう。電流が作る磁場の強さは、電流の強さに比例します。ですから、脈流も脈流波形のY軸方向の高さに比例した強さの磁場を発生させます。脈流は断続的に流れるので、波形の高さがゼロの部分が半分存在し、その部分が作る磁場の強さはゼロです。では、常伝導の電磁石を流れる脈流が、超伝導磁石の輪の上に作る磁場の強さはどうなるのでしょうか。これは、脈流の中、超伝導磁石の輪の上を流れる部分の脈流の強さに比例します。ここで、流れる脈流は、波長が輪の一周の長さと同じ長さに一致する程度の高周波数であることが意味を持ってきます。「脈流の波長 超伝導磁石の一周の長さ = 常伝導の電磁石の一周の長さ」という関係が成立しますから、超伝導磁石の輪の上を流れる部分の脈流は、常に、脈流の波形ほぼ一個分に相当します。脈流波形の一個は、半分为電流ゼロの部分となります。この電流ゼロの部分が作る磁場の強さはゼロです。すなわち、脈流が、超伝導磁石の輪の上に作る磁場の強さは、常に半分の部分において、ゼロとなります。電子に働くローレンツ力の強さは、磁場の強さに比例しますので、超伝導磁石の輪のほぼ半分の部分において、ほぼゼロとなります。超伝導磁石の輪の全体を見ると、ゼロから脈流波形の最高の高さまで、超伝導磁石の各部分に存在する電子対に働く磁場の強さが異なることとなります。異なった強さの磁場に従って、異なった強さのローレンツ力が各電子対に働くこととなります。

そこで、運動量秩序とその規制が意味を持ちます。異なった強さのローレンツ力が、そのまま運動量に変化したならば、どうなるのでしょうか。各電子対は、電流の流れる方向に垂直な方向に異なった大きさの運動量を持つこととなります。電流が流れる方向には、同じ大きさの運動量を持っているので、各電子対の重心運動が持つ全体としての運動量の大きさも異なることになってしまいます。これでは、運動量秩序が成立しません。それで、運動量秩序の規制が働いて、各電子対の重心運動の運動量の大きさを一定にするのです。このため、各電子対の重心運動の運動量の大きさの変化を同じにする規制が働くのです。この結果、ローレンツ力の強さが意味を持つこととなります。ある電子対に働くローレンツ力の力積が変化してその電子対が持つはずの最低の大きさの運動量（現実には量子化されていて、その最低単位の整数倍の運動量）に揃った大きさの運動量変化しか生じないこととなるのです。逆に言えば、すべての電子対において最低の大きさの運動量に揃った大きさの運動量変化が生じるので、運動量秩序が保たれるのです。そして、最低の大きさの運動量に揃った大きさの運動量変化が生じる結果、現実には生じなくなる分の運動量変化が存在することとなります。この生じなくなる部分の運動量変化からも磁力が生じるはずでした。この生じるはずの磁力が生じないこととなるのです。こうして、生じるはずの超伝導磁石の磁力に生じない部分が生じる結果、超伝導磁石に働く磁力よりも、常伝導の磁石に働く磁力の方が相当に大きくなります。従って、差し引き大きい分の常伝導の電磁石

に働く磁力を推進力として利用することが可能となるのです。

ところで、電子対に働いたローレンツ力の中、電子対の重心運動の運動量に変化しなかった部分はどのようなのでしょうか。当然、物理の原則に従うので、消えてしまうのではありません。この用をなさなくなった力積は、電子対の重心運動の運動量に変化せず、電子対ではなく電子対を構成する各電子のエネルギーに転化すると考えます。そのエネルギーは具体的には、各電子の反平行運動のエネルギーや各電子の振動のエネルギーとなると考えます。電子対の重心運動を動かすことができないので、動かすことの可能な各電子の反平行運動や振動の増大に転化すると考えるのです。

しかし、このエネルギーによる熱を心配する必要はありません。このエネルギーが加わっても、クーパー対のミクロな運動に不規則・乱雑性が無いことには変わりありません。クーパー対の集合である永久電流は電気抵抗ゼロで永久的に流れ続けます。抵抗ゼロであるということは、抵抗により生じる熱もゼロであるということです。クーパー対は熱には寄与しないのです。そして、これらのエネルギーは、振動自体に必要なエネルギーとして消費されたり、反平行運動を維持するためのエネルギーとして消費されたりします。その残りのエネルギーが、操作して超伝導磁石を常伝導状態に切り替えた後に、最終的に熱として放出されることがあるということです。

以上で、超伝導電磁エンジンが機能する理由の概要を理解されたものと思います。ここからは、いままでの純理論的な話とは違った話をします。

まず、超伝導電磁エンジンの利用法です。乗り物の骨組みに固定して超伝導電磁エンジンの推進力を乗り物に伝えて動かします。例として、超伝導電磁エンジンで物体を打ち上げる図を示しました。超伝導電磁エンジンを物体の下に接触させて固定します。電磁エンジンの上向きの力を  $F$ 、超伝導電磁エンジンが物体に与える力を  $f$  とします。超伝導電磁エンジンは物体に力を伝えた反作用として抗力  $T$  を受けます。

電磁エンジンによりこの装置全体に働く力を  $P$  とします。

図 5 超伝導電磁エンジンの利用法

$$P = F + f - T$$

そして作用反作用の法則により

$$f = T$$

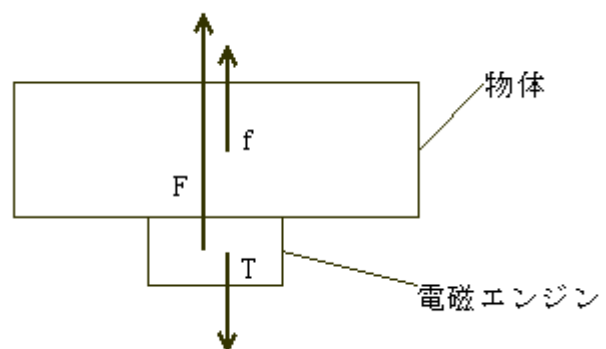
ですから

$$f - T = 0$$

これを  $P$  に代入すると

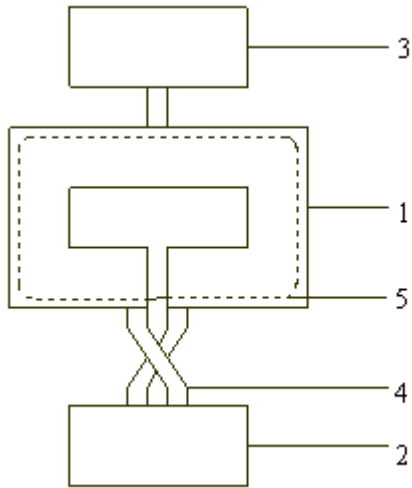
$$P = F + f - T = F + 0 = F$$

結局、装置全体に働く力  $P$  は  $F$  となります。



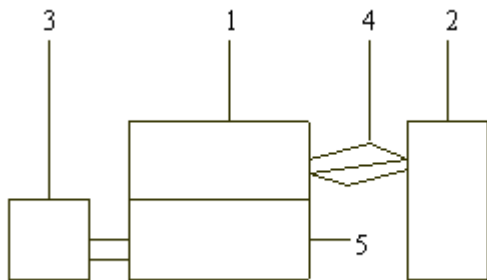
このFが装置全体の質量に働く重力よりも大きいときに、この装置を上方に打ち上げることができます。

図 6 電磁エンジンを上から見た平面図です。



【符号の説明】	
1	常伝導体
2	脈流電源
3	冷却器
4	ケーブル
5	超伝導磁石

図 7 電磁エンジンを示した側面図です。



次に、超伝導電磁エンジンの現実的な構造を見てみましょう。図 6 と図 7 を参照してください。冒頭で説明したように超伝導磁石と一回だけ巻いた常伝導の電磁石（1 の常伝導体）を重ね合わせて固定した構造になっています。ここで、一回だけ巻いた常伝導の電磁石に注目してください。一回巻なのに、超伝導磁石（5）に匹敵するほど大きなものとなっています。常伝導の電磁石に、太い鉄を使用するからです。これには三つのメリットがあります。

**メリット 1:** 太い鉄なので電気抵抗が小さく、消費電力が小さくて済みます。

**メリット 2:** この鉄は固くて太いので丈夫です。丈夫ですので、超伝導電磁エンジンに生じる強い推進力を船体に伝えるのに適しています。

**メリット 3:** 電気抵抗が小さいので、強い脈流を流しても、電圧が低くなります。電圧が低いので、脈流が作る磁場の波動の力が弱く、波動の力が強い場合に超伝導磁石に懸念さ

れる悪影響が生じません。

超伝導電磁エンジンのエンジンとしての特徴を見てみましょう。従来のエンジンと比較して優れている点を具体的に列挙して説明します。

#### **(1) 大推進力も得ることができ、推力の制御が容易である**

超伝導電磁エンジンに流す脈流の強さを制御することにより、ごく小さい推進力から、数万トン以上の推進力を得ることができます。超伝導電磁エンジンの推進力は、超伝導磁石の磁場の強さ、脈流の強さ、超伝導磁石と常伝導体のサイズを変化させることで、様々な大きさの推進力を得ることができます。また、脈流の流れる方向を逆転させることにより、推進力の方向を180度逆転させることができます。脈流という電流を制御することにより、推力を制御するので、推力制御は容易であると共に、一定値の推力を安定的に供給できます。複数の超伝導電磁エンジンを組み合わせて使用することもでき、これにより、より大きな推力を獲得することができます。また、複数の超伝導電磁エンジンを電子制御することによって、360度の軌道変更が可能となります。

#### **(2) 安全性・安定性・静音性に優れている**

推進剤を燃焼させて噴射するのではなく、電磁気力を直接、推進力に変換し燃焼を伴わないため、安全です。エンジン自体の構造がシンプルなため、安定的に機能すると共に、保守が容易です。原理が確認されれば、その物理学的原理に基づいて、安定的に機能します。また、超伝導電磁エンジンは、推進剤を燃焼させるのではなく、電気エネルギーを直接、推進力に変換するので、静音性に優れています。

#### **(3) 経済性・持久性・効率に優れている**

「ロケット最大の貨物が自らを宇宙空間まで運ぶ推進剤である」という矛盾した事実が解消されます。超伝導電磁エンジンは、電磁気力の推進力への変換と反作用の打ち消しを原理とし、推進剤の噴射を伴わないため、推進剤が不要だからです。推進剤を必要としないため、極めて経済性に優れています。また、電気を推進力のエネルギー源とするので、発電装置から電気を供給することにより、長期間にわたって、安定した推進力を連続して得ることができます。

他のエンジンと比べた効率について述べます。超伝導電磁エンジンの推力の理論値については、「分かりやすい超伝導電磁エンジン」の7章と9章で示してあります。その計算においては、鉄の電気抵抗率に見られるように厳しい数字を用いているにもかかわらず、素晴らしい結果が出ています。また、冷却に必要な電力についても、冷凍機冷却超伝導マグネット(CSM)を念頭において、私の調べた数値を考慮に入れてあります。超伝導電磁エンジンは、電磁気力を直接推進力に変換しています。そして、低消費電力で大磁界を維持できる超伝導磁石を使用しています。これらのことから、実現すれば、従来のエンジンよりも効率が優れているのは、理論的に自明のことだと考えます。また、超伝導電磁エンジンの原理が確認されれば、理論値を大きく違えるような要素もありません。

#### **(4) 再利用可能であり、有人宇宙船を容易に建造できる**

その構造から、通常のロケットのように使い捨てする必要がありません。何度でも、繰り返し使用できます。加えて上の三つの特徴から地球と宇宙を何度でも往復できる有人宇宙船を容易に建造できます。宇宙からの帰還に際しては、超伝導電磁エンジンにより反重力



の力を得て、宇宙船をゆっくり降下させればよく、スペースシャトルのような耐熱タイルを無しにすることができます。飛行機のように繰り返し飛べる宇宙船を容易に建造できます。

#### **(5) 従来型のエンジンとの組み合わせも可能である**

従来型のエンジンとの組み合わせ例を挙げます。超伝導電磁エンジンを装備して浮力を得ると共に垂直離着陸を行い、前方への推進をジェットエンジンで行う高性能飛行機を実現できます。超伝導電磁エンジンを一台装備してメインエンジンとし、従来の宇宙用エンジンを用いて姿勢制御・方向転換等を行う高性能無人探査機を実現できます。

このような特長を持つ超伝導電磁エンジンは、エアカーやエアバイク、空中飛行列車、UFOのような飛翔体、新型有人宇宙船など、夢の技術を実現することができます。