



HARMONIZE

エネルギーリサイクル

人は火の発見と利用によってその文明を築き上げ、いまなお、熱エネルギーをもととした文明の展開を続けている。化石燃料や原子力燃料をエネルギー源として広がる人類文明の未来に求められるものは何なのだろうか。

熱エネルギー文明

人類は、火山の噴火や落雷による発火がものを燃やし尽くすことを目のあたりにしながらこれを畏怖してきた。呪術的な火を祈りに利用した歴史から、これを暮らしの糧として取り込むまでの距離は現在の我々が思うほど間近なものではなかっただろう。しかし人は、火のもつ「熱」としてのエネルギーを暮らしの中に取り込み始めた。その時期はおよそ数万年前。そしてこれをさらに利用しやすくしたのが「着火」の技術である。人が火という熱エネルギーを暮らしの中に安定して用いるために発明した燧石は、人が技術という「知」を駆使し始めた意味でも、また火というエネルギーを自家薬籠中のものとしたという意味でも大いなる変革であったことができる。

火の発見と燧石の発明は、その後数万年の時間の中で成熟して現代文明へと結びついた。その契機となったのは「燃える石」である石炭や「燃える水」とも呼ばれた石油、そして「燃える空気」としての天然ガス発見にあった。人は言語によって技術を伝承し、技術を積み重ねて文明を築き上げてきた。火の利用においてもまた、さまざまな技術を発明することによって確固たる文明を構築してきた。燃焼効率のいい石炭や石油という素材を燃やすことによって人は熱エネルギーの利用について長足の進

歩を遂げた。暖をとる輻射熱としての利用は人の住むエリアを拡大した。そしてこの輻射エネルギーを水蒸気という媒体を用いることによって力のエネルギーに変換し、さらに運動エネルギーとして引き出した。その顕著な歴史のステージが産業革命であった。加えて人は、力のエネルギーを電気というもうひとつのエネルギー源に変換することで、熱エネルギー活用を単なる運動エネルギーの場からスケールアップして現在にいたる文明の礎を作り上げたのだ。コンピュータ文明ともいえる現代社会も、突き詰めれば、その根底にあるのは熱エネルギーによって支えられている。人類の歴史と文明はまさに熱エネルギーに支えられてその発展と構築を遂げてきたといえることができる。

ゼロリリースとリサイクル

これまで、熱エネルギーの源を支えてきたのは、いわゆる化石燃料であった。石炭も石油も天然ガスも、地球の永い歴史の中で地中に蓄えられてきたものだ。この地中に眠っていたものを地上に熱エネルギーとして解放することは地球生命体ともいえるべき「ガイア」^[注1]全体に大きな影響を与える結果となった。いわゆる環境汚染である^[注2]。しかし人は、地上の生命体にとって快適な状態を保とうとするガイア本来の自己制御システム復旧を図り、汚染から環境を守ろうとしている。そのひとつが化石燃料を熱工

【注1】

ガイアとは、「地球の大気、水系、土壌、表層地殻にまたがる生命圏(バイオスフィア)全体が、ひとつの巨大な生物のように気温、海洋塩分濃度、大気ガス組成などを自己調節・維持しているとみなすもの」である。それは、地球が気候や化学組成をいつも生命にとって快適な状態に保つ自己制御システムだということもできる。ちなみにガイア説は、生物物理学者ジェームズ・ラブロックが想起した上記のような概念にノーベル賞受賞作家のウィリアム・ゴールディングが名づけたものである。

ジェームズ・ラブロック

1919年生まれ。イギリスの生物物理学者。「ガイア理論」の創始者として知られる。彼の理論に影響された映画「地球交響曲 シリーズ」は1989年にスタート以来10年以上も多くの支持を受けた。イギリスの田園地帯において水車小屋を改造した研究室で科学者としての研究活動を続けてきた彼の生き方をそのものが「ガイアと人間のあるべき姿を示すひとつのモデル」といわれる。

ウィリアム・ゴールディング

1911年生まれ。イギリスの作家。1954年に、核戦争下に孤島に漂着した少年たちが原始的な悪に染まってゆく姿を描いた寓話『蠅の王』を発表。1983年ノーベル文学賞受賞。

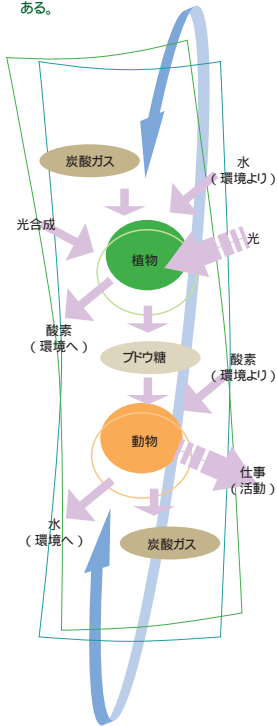
【注2】

化石燃料を熱エネルギーに変えて放出することがガイアの有機結合を変えてしまいかねないということは、生命にとって快適な状態をつかさどるガイアの自己制御システム機能を阻害することを意味する。このような、文明の発達ガイア本来の安定的な自己制御システムに及ぼす深刻な影響は一般的に環境汚染と呼ばれる。それはガイアの循環器系ともいえるべき空気や水の汚染であったり、またガイアの体細胞ともいえる生き物自身に変化を強い環境ホルモン汚染などであったりする。



【図1】

植物が光合成によって太陽エネルギーを消費するとともに、微生物や昆虫及び草食動物などへの生態的エネルギー供与において消費され、最後には生体の分解や焼却によって炭酸ガスとなって再び植物にもたらされるかたちとなっている。これはいわば、太陽エネルギーを植物が蓄電して次に動物が放出し、再び植物に還ってくるゼロリリースのスタイルである。ここで注目されるのが、植物から動物へのエネルギーの橋渡しである。



【注3】

熱効率の高い内燃機関を用いて発電を行い、そこから生まれた熱エネルギーを給湯や暖房、さらには再び発電に用いたりするものである。ドイツなどでは集合住宅の地下に天然ガスによる内燃機関を設置して盛んに用いられているが、大都市でも非常用電源の意味と経済効率を併せてこれを地下に設置しているところも少なくない。例えば東京・新宿の新都心には、ジャンボエンジンのエンジンやジェットヘリコプターのエンジンなどが地下に持ち込まれ、これを動力源及び熱源としてコジェネレーションが行われている例がある。空を飛ぶためのエンジンが地下に設置されているのは、ひとえにこれらのエンジンが熱効率のよさを求めて設計されてきたからであろう。

エネルギー変換する際に避けられない大気汚染を削減することへの取り組みである。現在、もっとも人類に多大な貢献をしている熱エネルギー源の石油については、掘削時に派生するガスを燃焼させて大気放出することをせず地中に埋め戻すなどの対策がとられている。そして「第3の火」として出発し、人類の将来的熱エネルギー源としての活躍が期待される原子力エネルギーにおいても、ガイアに対する影響削減のためのさまざまな方策が研究されている。そのことは後半に述べよう。

ガイアの自己制御システムを復旧させるために、人はガイアの自然サイクルそのものから復旧手段を探ろうとしている。ガイアが永い時間にわたって地上や地中の変化相を自己制御システムに破綻を来たさないように作りあげてきたことに学ぶとするものだ。その基本は「ゼロリリース」にある。ゼロリリースとは、ひとつの消費サイクルが自己完結していて、そこから余分なものを何も出さないという意味である。太陽の光と熱のエネルギーを、ガイアはどのようにゼロリリースしているか。その概念を示したのが【図1】である。ここには太陽エネルギーを、かたちを変えることによって地上においてリサイクルしている姿が十分に窺える。

天と地で異なるエネルギー源

では、エネルギーのゼロリリースはどのようにすれば可能になるのだろうか。ただその前に、太陽エネルギーと地上エネルギーとの根本的な差異をあげておかなければなるまい。そうでなければ、エネルギーのゼロリリースの根本的な課題が見えてきにくいだろう。太陽の熱エネルギー源は水素の核融合によっている。しかしこのエネルギー発生源において核反応に関連した物質は太陽自身に残されたままである。し

かもエネルギーを享受する地球からはきわめて遠くにあるため、残存物の影響は地球に届かない。つまりガイアというひとつの生命体から見れば、リサイクルが行われているかどうかは関係なく、生態系においてそのエネルギーによる化学反応に寄与した物質に関連したところだけでリサイクルとゼロリリースを考えればよくなる。これに対してガイアの中においては、熱源そのものがガイア内にあるためにゼロリリースはきわめて難しい問題となってくる。この点が、天にある太陽というエネルギー源と、地上における化石燃料や原子力燃料をもとにしたエネルギー源との決定的な差異である。

化石燃料におけるエネルギーリサイクルにおいて、酸素との結合によって作り出された二次物質である炭酸ガスをはじめとする物質をエネルギーリサイクルすることは難しい。もちろん論理的には、炭酸ガスから炭素を固定遊離してリサイクル燃料とすることは可能だろうが、現実問題として、これに挑戦した歴史はこれまでのところ見あたらない。そこで燃焼によって作り出された熱エネルギーそのものを、一次利用だけで放出してしまうのではなく、二次利用することで結果的に物質燃焼を抑える挑戦がなされている。こうした試みのひとつがコジェネレーション^{【注3】}と呼ばれるシステムである。一般に「電熱供給システム」と呼ばれるもので、高い熱エネルギー循環を達成する。しかしそれでもなお、ガイア内に設置された熱源から発せられる熱エネルギーのサイクル系は、現在も開かれたままであることに変わりはない。

リサイクルエネルギーとプルサーマル

開かれたままという点では、ガイアの中の太陽ともいべき原子力エネルギーも、まだ閉じられた系として完成しているわけではない。ただ



化石燃料を原料とする熱源と比べた場合、サイクルの系は比較的閉じやすい物質だということではある。いいかえれば、炭酸ガスをはじめとする燃焼二次物質に比べて、利用後の原子力燃料はリサイクルしやすいものなのである。それは原子力燃料に用いられるウラン燃料の性質によっている。

現在、世界で最も活用されている軽水炉型と呼ばれる原子炉に用いられるウラン燃料は、核分裂によって熱エネルギーを発する燃料であるが、直接燃やす対象とするのはウラン235で、残りの97%は核分裂しにくい、いわば「燃えない」ウラン238である。そしてウラン235は燃料としては2%程度しか利用されておらず、残存物質にはまだ1%のウラン235が残される。また97%のウラン238も単に燃えないだけではなく、運転中の原子炉内においてその一部が中性子を吸収することでプルトニウムとして自然生成され、これも核分裂によって熱エネルギーとして利用される。そして最後にはプルトニウムもまた1%が残る。原子力発電設備としてもっとも成熟した技術といわれる軽水炉型原子炉においては、ウラン235及びウラン238から炉内生成されるプルトニウムが熱エネルギーを得るための原料となっているのである。そして、熱エネルギーを作り出した後において取り出された原子力燃料にはおよそ97%のリサイクル可能な物質と3%の放射性廃棄物が残される結果となる^{【図2】}。化石燃料が閉じた系としてゼロリリリースを実現できないのと同様に、原子力燃料もまた、リサイクル性の高い残存物として取り出されるとはいえ、放射性廃棄物を生み出す点において、ゼロリリリースを実現してはいない。

こうした原子力燃料の特性を活かし、軽水炉型原子炉において、燃料リサイクルを可能にしようとするのがプルサーマル計画と呼ばれるものである。財団法人高度情報科学技術研究

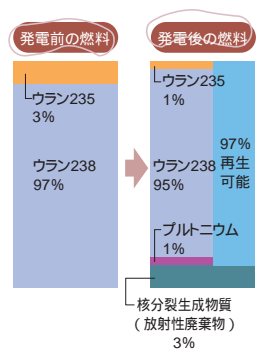
機構・原子力PAデータベースセンターのサイトにある原子力百科事典によれば【注4】のように記されている。つまり、使用済み燃料を再処理して取り出したウラン混合のプルトニウムとウランを混ぜて加工したものを再び軽水炉型原子炉で活用しようとするもの、それがプルサーマル計画である。リサイクルすることにより原子力燃料を利用した後に残される核物質をなるべく廃棄しなくて済むようになる。これによってゼロリリリースへの歩みが一歩進んでいくのだ。こうしたエネルギーリサイクルの試みに対する飽くなき研究と挑戦がなされることで、原子力エネルギーにおけるゼロリリリースは、現実的な問題として考えられるようになる日も近いといえるだろう。

ただ、ここで断っておかなければならないことは、太陽エネルギーとは異なり、ガイアの中に熱源をもつという意味では、化石燃料も原子力燃料も同じ宿命にあるのであって、完全なゼロリリリースを実現することはおそらく現在の技術では不可能かもしれない。しかしだからこそ、今後の研究と挑戦がさらに進められなければならないものなのだとはいえよう。

天然原子炉の存在から新しい時代へ

先に、化石燃料のゼロリリリースモデルとして太陽エネルギーを熱源とする生物のゼロリリリースサイクルを提示したが、実は原子力エネルギーをゼロリリリースに近づけていくためのモデルもまた自然界の中にある。それは、ガイア自身が作り出した天然の原子炉である。アフリカ中部の大西洋側に面するガボン共和国のオクロ鉱山がそれだ^{【注5】}。この天然の原子炉はおよそ20億年前に誕生し、自然条件の絶妙な配列の中で約16基もの天然原子炉がウラン235の核分裂によって制御棒もなしに静かに熱を作り続け、その後100万年もの間エネルギーを安定放

【図2】
原子燃料のリサイクル図



【注4】
「プルサーマル / Plutonium utilization. プルトニウム(plutonium)を軽水炉等の熱中性子炉(thermal reactor)の燃料に利用することをいう。将来的には、プルトニウムを高速増殖炉で利用することにより、ウラン資源の利用効率を飛躍的に高めることができるが、実用化にはまだ時間がかかる。そこで、より現実的な方法として現在の原子力発電所(軽水炉、重水炉)でプルトニウムとウランと混合した酸化物燃料(Mixed Oxide Fuel、略してMOX燃料)の形で利用するプルサーマル計画が世界で進められている。これは、プルトニウムを平和目的に限って利用し、余分なプルトニウムを持たないという核拡散防止の大原則にも則っている。これまでに、日本では、敦賀発電所1号機、美浜発電所1号機でMOX燃料集合体6体の使用実績がある。海外では早くから実施され、既にMOX燃料集合体1700体以上が軽水炉に装荷され運転されている」

