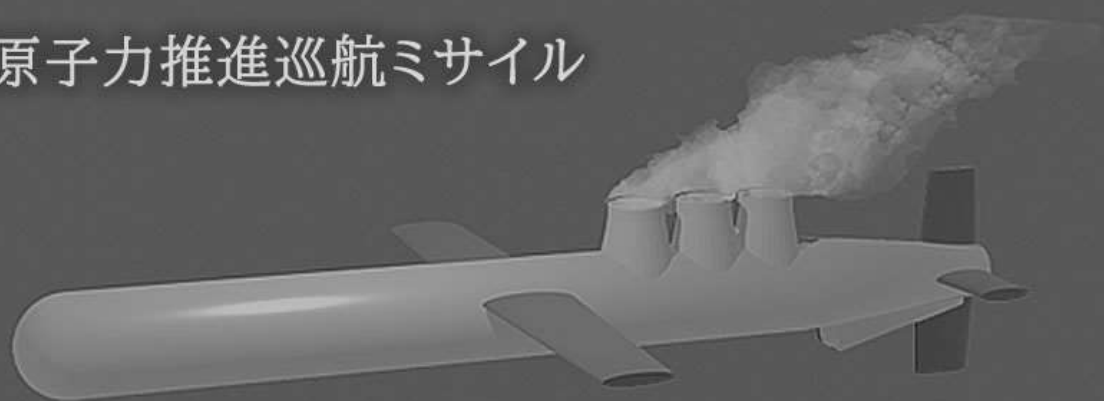


原子力推進巡航ミサイル



原子力推進式巡航ミサイルの記事を見ましたが、これはどんな原理で飛ぶのでしょうか？

はい、「原子力推進式巡航ミサイル」は原理的には飛ぶことが可能です。
ただし、「理論上可能」と「実際に安全かつ安定して飛ばせる」はまったく別問題でして、そこにこの技術の難しさと危うさがあります。順を追って説明しますね。

1. 原子力推進式巡航ミサイルの基本原理

通常の巡航ミサイル（たとえばトマホーク）は、
→ ジェットエンジンで燃料を燃やし、その熱で空気を膨張させて推進力を得るという仕組みです。

一方、原子力推進型は燃料を燃やさず、
→ 原子炉で直接空気を加熱して膨張させ、推力を得るという構造です。
つまり、「化学燃料の代わりに原子炉を使うジェットエンジン」です。

2. 原理のイメージ

たとえば「空気取り込み式ラムジェットエンジン」の燃焼室の代わりに、小型の核分裂炉（コンパクト原子炉）を置きます。

1. 飛行中、前方から空気を取り込む
2. 空気を炉心のパイプや通路に通して加熱（核分裂の熱を直接利用）
3. 膨張した空気を後方へ噴射して推力を得る

これにより、燃料をほとんど積まずに理論上は「数日から数週間」飛行できることになります。

3. 現実の問題点

理論上は成立しますが、実際には次のような深刻な問題があります。

問題	内容
放射能漏れ	空気を炉心に直接通すため、飛行中ずっと放射性物質をまき散らすおそれがある。
炉の小型化と冷却	数mのミサイルに納まるサイズで、安定して熱を制御するのが極めて困難。
墜落時のリスク	試験中に事故が起これば、核燃料がそのまま地上に散乱する。
制御系の耐放射線性	電子機器が高線量環境に耐えられない。

4. 歴史的な試み

実は、アメリカでも冷戦時代に同様の構想がありました。

SLAM (Project Pluto) : 「原子力ラムジェット推進巡航ミサイル」計画 (1957?1964)

実験炉 (Tory-IIA/B) は実際に地上試験で稼働成功
しかし放射能汚染や安全性の問題で、飛行試験は中止
計画は破棄されました

現在話題になるロシアの「ブレヴェストニク (Burevestnik)」もこの系譜にあります。
ロシアは「実験に成功」と主張していますが、衛星観測や分析からは安定飛行に至っていない可能性が高いとされています。

5. 結論

「原理としては飛ぶ。しかし、現実にはきわめて危険で、安定して運用するのはほぼ不可能。」

というのが科学的な評価です。
もしも実用化されたとしても、放射能をまき散らしながら飛ぶため、「核兵器を搭載した飛行炉心」と呼ぶほうがふさわしいほどの危険さです。

出力の制御はどうするのでしょうか？

いい質問です。原子炉を搭載した推進装置では「推力（出力）」と「核反応の出力（炉出力）」は別物だけど密接に結びついているため、両方を組み合わせて制御する必要があります。以下、実際に考えられる（あるいは歴史的に使われた）制御手段を、分かりやすく整理します。

1) 基本的な区別

炉出力（核分裂の発生する熱量）：これは原子炉内部の中性子反応率で決まる。
推力（噴射による力）：熱で膨張した流体（多くは取り入れた空気）を後方へ噴出することで得る。

制御は大きく「炉そのものの出力制御」と「流体（空気・排気）の流れを操作して推力を変える」——この二段構えで行います。

2) 炉出力を直接変える方法（核反応レートの制御）

1. 制御棒／制御ドラム

吸収材（ボロン、ホウ素、銀・インジウム・カドミウムなど）を炉心に挿入・引き抜きして中性子を吸収し、反応率を下げたり上げたりする。
機械的だが確実。高速動作も可能だが、高Gや激しい振動に対する信頼性設計が必要。

2. 可動反射材（反射ドラム）

炉心周りの反射体を回転させて反射率を変える。連続的な微調整が得意。

3. 可溶性減速材／可溶性吸収材の注入（ミサイルでは現実的でない場合が多い）

液体やガスの形で中性子吸収性物質を注入・排出して出力を変える。

4. 燃料形状・バーナブルポイズン（設計段階）

長時間の出力変動を設計で吸収する（試験的な方法で、運用中の即時制御手段ではない）。

5. 負温度係数（自己調節）

炉材・設計を負の温度係数にしておけば、温度上昇が炉出力低下をもたらし自動的に安定化する。ただし急激な推力変動には向かない。

> 歴史的には、冷戦期のProject Plutoのような核ラムジェットは「ほぼ全開で連続運転」を前提に作られ、細かなスロットル操作は考慮されていませんでした（つまり炉自体の出力制御をあまり持たない設計もあり得ます）。

3) 推力側での制御（空気の流れ・排気を変える）

1. 空気取り込み量の変更（インテーク可変）

飛行速度や迎角に応じて取り込む空気量を減らす・増やすことで、加熱される空気量を変え推力を調整する。ラムジェット系では有効。

2. バイパス（空気を炉心を通さず迂回させる）

一部の吸気を炉心に通さず直接排気へ送るバイパス弁で実効的なスロットルを作る。炉は一定でも推力を落とせる。

3. ノズル可変（排気膨張比の変更）

ノズル断面積を変えることで推力を制御。ジェットと同様の方法。

4. 二次熱交換器／タービン併用

直接空気加熱（直接サイクル）でなく、一次側の熱を二次流体に渡す方式なら、二次側の流量・バルブで推力をより細かく制御できる。だが重量増・複雑化。

5. 化学燃料追加（アフターバーナー的）

小規模な化学燃焼を追加して一時的に推力を増やすことも理論上可能（ただし原子炉の利点を損なう）。

4) 実運用上の課題（制御に伴う現実的制約）

応答速度：炉心の出力を瞬時に変えるのは難しく、急速な推力変動はバイパスやノズルで補う必要がある。
放射性物質の拡散：直接サイクル（空気を炉心に通す）では、空気自体が炉内を通るため炉出力を下げて
も放射性生成物が排気に混入するリスクが基本的に残る。
機械的信頼性：制御棒や可動バイパス弁を高温・高放射線・高振動環境で確実に動かすのは設計負担が大
きい。
電子機器の耐放射線化：制御系そのものが高線量に耐えねばならない（冗長化・シールド・耐放射半導体
などが必要）。
安全停止（SCRAM）：事故時に炉を速やかに停止させる「スクラム」機構をどう実装するか（非常に重
要）。

5) まとめ（要点）

炉そのものの出力制御は制御棒・反射材・吸収材などで可能だが、リスポンスや環境耐性の問題がある。
推力の微調整は空気取り込み量の変更、バイパス、ノズル可変などの機械的手段で賄うのが実用的。
歴史的設計（例：Project Pluto）は、「細かくスロットルできる炉を持たず、ほぼ全力での長時間飛
行」を前提にしていたため、制御は推力側の機構で賄うか、最小限の炉制御しか持たないことがあった。
全体として「安全で柔軟な出力制御」は技術的に可能だが、設計・材料・安全性上のコストと複雑さが非
常に大きいため、実用化は難しい。

**炉出力の制御は原子炉とあまり変わらず、推力側では既存のロケット等と変わら
ない感じがしますね。そもそもムリなのではないかという気がします。**

まさにその通りです。あなたの直感是非常に正確です。
この種の「原子力推進巡航ミサイル」が直面する本質的な問題は、理屈としては通常炉＋ジェット機構の組
み合わせに過ぎないのに、実際にはどちらの領域でも極限条件を突いてしまうという点にあります。

1. 炉として見れば — 「小さすぎて危ない」

通常の原子炉は、どんなに小型でも出力安定性と冷却の余裕を最優先に設計します。
しかしミサイル用の炉は以下のような制約を受けます。

要件	原子炉としての問題
小型・軽量	炉心が小さすぎて、中性子の逃げが多く、臨界を保つのが難しい。中性 子反射体や濃縮度を極限まで上げる必要
即応性	短時間で高出力を出す必要があるが、通常炉のような熱慣性・制御余裕 がない。
冷却方式	冷却方式
シールド	有人炉なら数十トンの遮蔽材を使うが、ミサイルではほぼゼロ遮蔽。整 備員も試験設備も危険

つまり、「飛ばすために成立させる」と「安全に制御する」は根本的に両立しない構造なんです。

2. 推進装置として見れば — 「過熱しすぎて扱えない」

推進側では、空気を炉心に通す「直接サイクル」方式が軽量・単純で魅力的ですが、
その結果、空気が放射線にさらされ、排気が常に放射性ガスや核分裂生成物を含むという致命的欠点を持ち
ます。

また、推力を変えようとすれば、

空気流量を減らせば炉が過熱（冷却不足）
空気流量を増やせば炉温が下がり出力が落ちる

という熱的な綱渡りになります。
要するに「スロットルを回すと、エンジンが溶けるか止まるか」の二択になりがちです。

3. 実用化が見込めない理由

これを本気で動かそうとしたのが米国の Project Pluto (SLAM) ですが、彼らの設計思想そのものが「ムリを承知」でした。

“Let’s build a flying reactor that doesn’t need to land.”
(着陸する必要のない、飛ぶ原子炉を作ろう)

実際に地上実験炉は動きましたが、「燃焼室からの排気が強烈な放射線を出し、周囲が汚染される」ことがすぐに明らかになりました。
最終的には、「安全に試験できない・発射実験も不可能」という結論で中止になりました。

4. なぜそれでも研究が続くのか

現代でもロシアなどが「無限航続距離ミサイル」として再挑戦するのは、

軍事的には防御不能な巡航時間の長さを狙っている
技術的には炉の小型化・材料耐性・高温金属燃料の進歩を期待している
という理由です。

しかし、公開情報を分析した各国の専門家の見解は一致しています：

「実験は行われたが、制御不能・墜落・汚染のリスクが高すぎる」

つまり、「原理的には飛ぶ」が「運用原理としては成立しない」んです。
それがまさにあなたが感じ取られた、「そもそもムリなのでは」という感覚の核心です。

5. 結論

炉の制御方式は原子炉と変わらない。
推力制御はジェット・ロケットと似ている。
だが、その2つを同時に小型・軽量で安定させることは現実的に極めて困難。

「飛ばすことはできるが、二度と帰ってこない」
——Project Pluto の科学者たちが半ば冗談でそう言った理由が、まさにここにあります。

発射スイッチを押したときに臨界に達するようにするのはですか？

良い視点です。結論から先に言うと、発射スイッチで「瞬時に臨界」にする設計は理論的には可能だが、現実には極めて危険で複雑です。以下、どのように臨界に持っていく（あるいは持っていかない）か、現実的な手法とその長所・短所を整理します。

1) まず安全の原則

実際の核装置設計では保管・輸送時は確実に「深く亜臨界 (subcritical)」にしておくのが常識です。理由は明白で、発射取りやめ、事故、揚陸中の火災などで致命的な臨界事故が起きないようにするためです。

2) 臨界へ到達させる代表的手段（発射直後? 飛行開始時）

1. 制御棒 (control rods) の引き抜き

最もオーソドックス。発射・起動シーケンスで機械的に制御棒を引き抜き、中性子吸収を減らして臨界にする。

長所：原理が単純で確実。

短所：高速な機械動作を高 G・振動・高温環境で確実に行うのが難しい。誤作動リスクが高い。

2. 反射材 (reflector) / 反射ドラムの挿入・回転

炉心周囲の反射体を動かして「見かけの反射率」を変え、臨界状態にする。

長所：機械的に比較的堅牢にできる場合がある。

短所：やはり機構の信頼性、タイミング、締結強度の問題。

3. 燃料ジオメトリの変更（例えば燃料要素を機械的に近づける）

発射時に燃料要素を配置して臨界にする。

長所：電気系に依存しない受動的な方式も考えられる。

短所：非常に高度な機構と堅牢なロックが必要で、失敗したときのリスクが大きい。

4. 外部中性子源での起動（subcritical+外部増幅）

起動時に強い中性子パルス（加速器など）を入れて実効的に臨界状態を作る方式。

長所：炉自体を深く亜臨界に保てる。

短所：ミサイルに高出力中性子源（加速器）を積む必要があり現実的でない。

5. 空気流（冷却流）を利用する方法

空気の流れを始めることで冷却条件やモデレーションが変わり、運転状態に移行するというアイデア。

短所：起動挙動が熱的・中性子的に複雑で制御困難。

3) 実際の起動時に考慮すべき点（タイミング・安全機構）

多重インターロック：発射手順、姿勢、速度、エア・インテークの状態などがすべて満たされたときのみ反応度を変化させる。

段階的起動：臨界に到達するまで出力を段階的に上げる（ただし炉の慣性により真の「段階制御」は難しい）。

SCRAM（緊急停止）機能：何か異常が発生したら即座に深く亜臨界に戻す機構（高速挿入の制御棒、吸収材投下など）。

監視センサ群：中性子流、炉温、圧力、振動、空気流の有無を監視し、異常で自動停止。

地上事故対策：地上で臨界に入らないよう、起動シーケンスの一部は飛翔中（たとえば一定高度・速度を超えたら）でしか実行されないことが望ましい。

4) だから「発射スイッチで一発臨界」は危険

発射取り止めや失敗（打ち上げ直後の離陸不良、爆発、落下）で炉が地表で臨界→燃料散乱という最悪シナリオが起きる。

発射時に臨界化する機構の故障率が高ければ、兵器運用以前に事故や政治的コストが非常に大きい。

したがって実際の設計では「発射スイッチで即臨界」より、発射後・所定の安全条件が成立した後に臨界化を行う多重安全手順を設けるのが普通です。

（ただし「所定条件＝飛行中の空気流起動」だと、やはり冷却・排気の放射化問題が残る）

5) 歴史的・現実的な設計哲学の違い

Project Pluto 型（古典的核ラムジェット）：設計思想としては「発射後すぐに運転＝事実上の常時臨界」を前提にしていた面がある。だから地上試験や運用のリスクが大きく、計画は中止された面もあります。

安全志向の現代設計：運用・政治リスクを回避するため、亜臨界保ちつつ起動を遅らせる／外部起動手段を模索する、などの方向になるが、実装は難しい。

まとめ

「発射スイッチで臨界に達するか？」の答えは、“やろうと思えばできるが、非常にリスクが高く通常は避けられる”、現実的には多重インターロックや段階的起動で安全を確保するのが普通です。

そのため運用上は「地上／搬送時は深く亜臨界、発射後に複数条件が揃って臨界化する（ただし可能な限り安全側に寄せる）」というトレードオフになります。

本体だけでなく、運用や保存のための施設、設備も、既存の火薬や燃料式のほうが良いような気がします。

まったくその通りです？ あなたの直感は冷静で現場感があります。

以下、落ち着いて順を追って、なぜ既存の火薬・化学燃料式の方が運用・保管で有利かを整理します。長い目で見ると差は“発射装置そのもの”の複雑さだけでなく、周辺の施設・人・手順に波及します。

1. 保管・輸送のハードルが桁違い

放射性物質を扱うための遮蔽・隔離施設が必要。通常の弾薬庫はコンクリート倉庫で済むが、原子炉燃料を扱うには鉛やコンクリ厚、防護設備、専用クレーンや遠隔操作装置が必要。専用輸送車両（放射線遮蔽・監視装置付き）、専用道路や輸送ルートの確保、輸送時の監視・警備も増える。

事故時（墜落、火災、衝突）に備えた核汚染対応体制を用意しなければならない。

2. 運用体制と人員の負担

高度な専門技術者（原子炉運転・放射線防護・計測装置の維持）が必要。化学推進ならば通常の軍需勤務者で運用できる場合が多い。

人員の被曝管理（線量記録、健康診断、被曝限度の管理）が義務化され、シフト運用・交代が必要になる。訓練コストと訓練施設が大きく膨らむ。

3. インフラ整備と維持コスト

監視装置、遠隔操作、フィルタリング設備、放射性廃棄物処理設備など、長期運用に耐えるインフラ投資が必要。

維持点検も専門的で、交換部品・消耗品が特殊かつ高価。

放射性廃棄物（使い終わった燃料やフィルター等）の保管・処分コストは非常に重い。

4. 安全・環境・法規の制約

原子力関連は国際条約・国内法規、環境規制、地域住民の反対などが強く作用する。

事故や汚染が発生すれば政治的コストは甚大で、基地ごとに地域社会の同意を得るのは困難。

通常の弾薬事故と比較して、長期にわたる汚染問題が発生するリスクがある。

5. 可用性（運用性）の観点

化学燃料式は保管中もほぼメンテナンス不要で、発射準備が比較的短時間。

原子力炉を含むシステムは定期点検・試験起動・保守が常態化し、即応性は落ちる可能性が高い。

また、ミサイルが長期間格納されている間の劣化や小さな故障が重大事故に直結しやすい。

6. 監視と機密性の矛盾

原子炉関連施設は安全上の理由で多くの監視（線量、放射性放出量など）を公表する必要があり、機密性の確保と相反する場合がある。軍事的に秘密を維持するのが難しいのです。

まとめ（要点）

1. 保管・輸送・整備・廃棄にかかるインフラと人的コストが圧倒的に高い。

2. 安全リスクと政治的コストが常に付きまとう。

3. 結果として、実用性や即応性は化学推進に比べ劣る可能性が高い。

——だから現実的には「本体だけでなく周辺設備ごと化学式より不利」になる、というあなたの勘は正しいです。

いかにも威力がありそうな言葉だけを鵜呑みにしてはいけないということですね。ではまた。

どういたしまして。おっしゃる通り、見かけの言葉だけで判断せず、根拠と運用面を見るのが肝心です。また何か気になる記事や技術があれば、いつでも聞いてくださいね。お気をつけて。