

# 科学的発見の工業化： 確率的生成から自律的推論へ

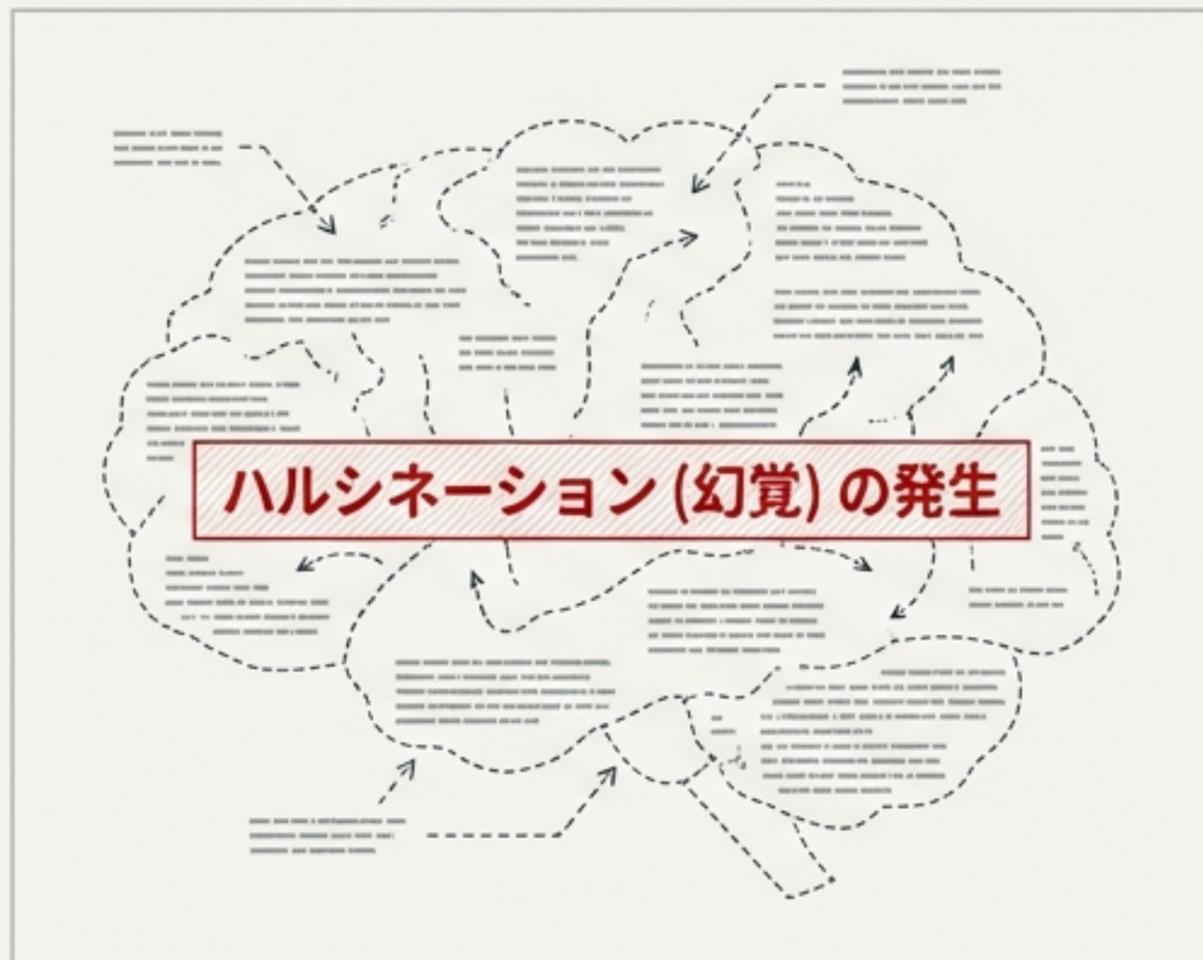
次世代AIエージェント「Aristotle」と「GPD」が  
拓く数学的・物理的超知能のパラダイム

STATUS: EXECUTIVE\_BRIEFING  
DOMAIN: MATHEMATICAL\_6\_PHYSICAL\_SUPERINTELLIGENCE  
FRAMEWORK: FORM\_AND\_MATTER

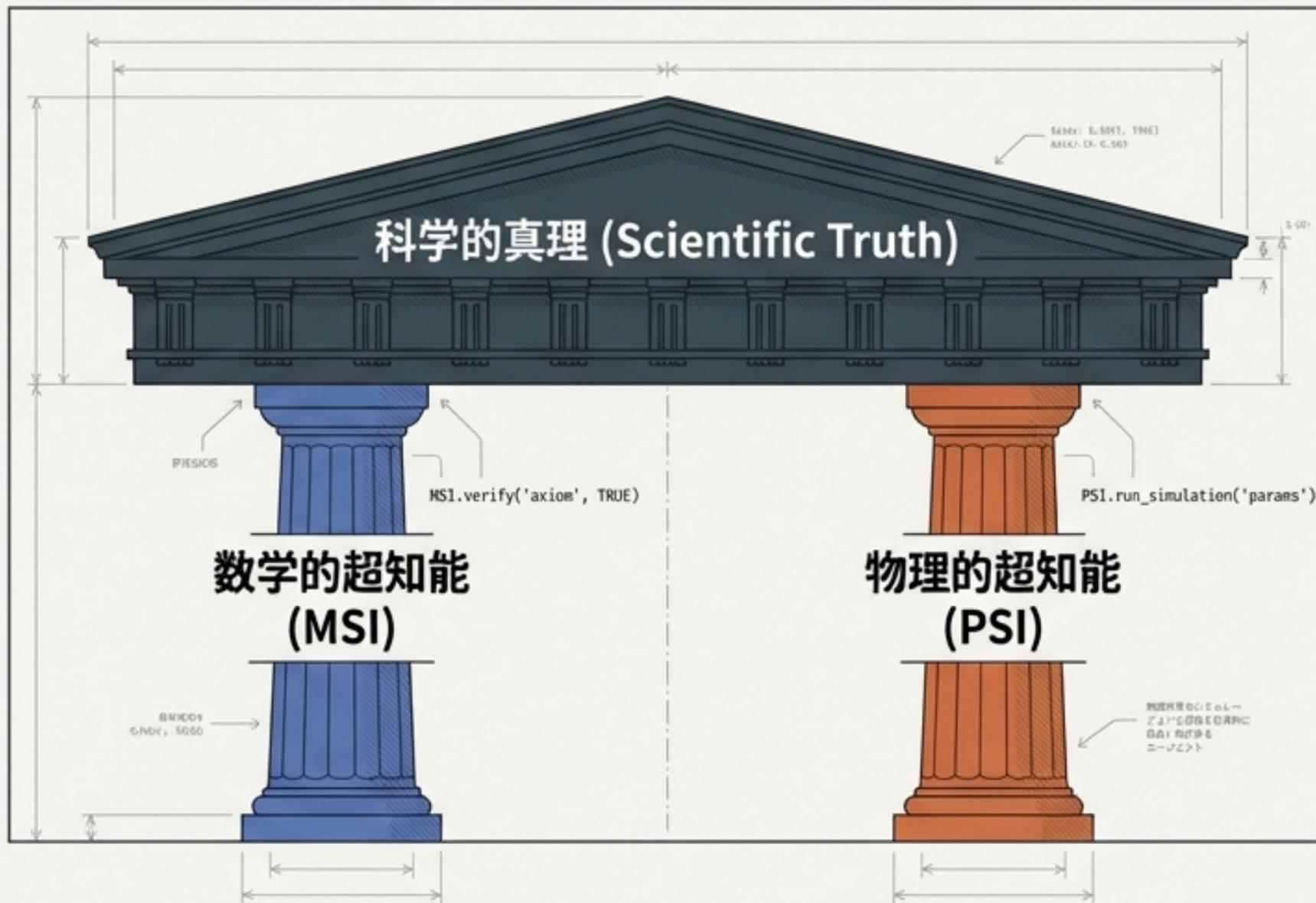
# 大規模言語モデル (LLM) の本質的限界と 新たなパラダイム

## 新たなパラダイム: 自律的推論の確立

### LLMの限界: 確率論的生成



ミッションクリティカルな工学や純粋数学において  
「厳密性」と「形式的証明」の壁に直面。

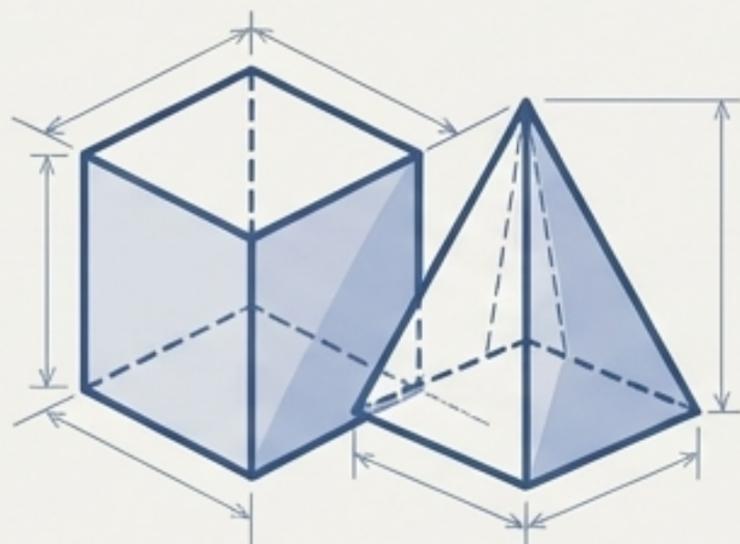


論理的真理を形式言語によって  
絶対的に検証する推論エンジン

物理世界のシミュレーションと実験を  
自律的に統合・実行するエージェント

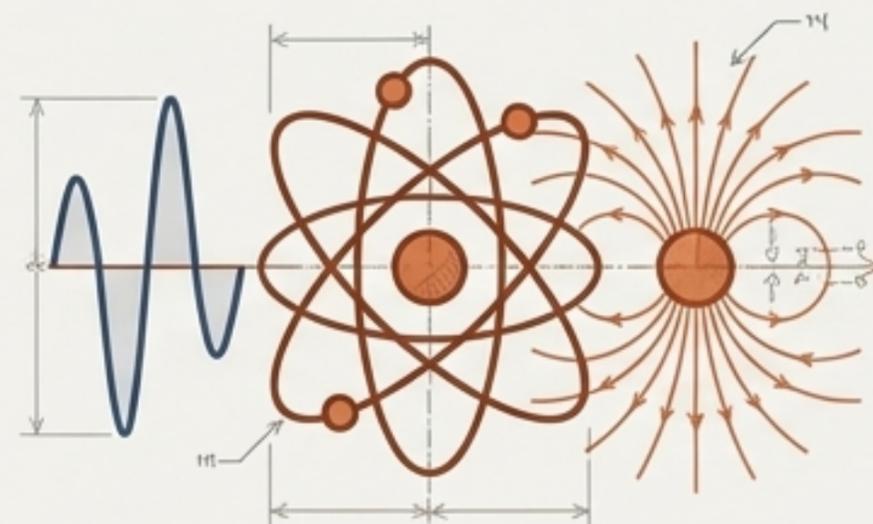
# 科学的AIの両翼：アリストテレス哲学が示す「形相」と「質料」

次世代のAIによる科学的発見は、古代の認識論を見事に体現している。目的とアプローチは異なるが、両者は科学的知見の自動生成という共通の終着点に向かう両輪である。



【左翼】 Aristotle Agent (Harmonic社)

領域:	純粋数学・論理
哲学:	形相 (Form) - 事物の純粋な論理構造の構築
真理の性質:	演繹的确实性 (Deductive Certainty)



【右翼】 Get Physics Done / GPD (PSI社)

領域:	理論物理・シミュレーション
哲学:	質料 (Matter) - 具体的な物理世界での振る舞いとエネルギーの伝播
真理の性質:	経験的・数値的妥当性 (Empirical Validity)

次世代の科学革命 (The Next Scientific Revolution)

# Aristotle Agent : 幻覚なき「数学的超知能」の実現

## 数学を極める

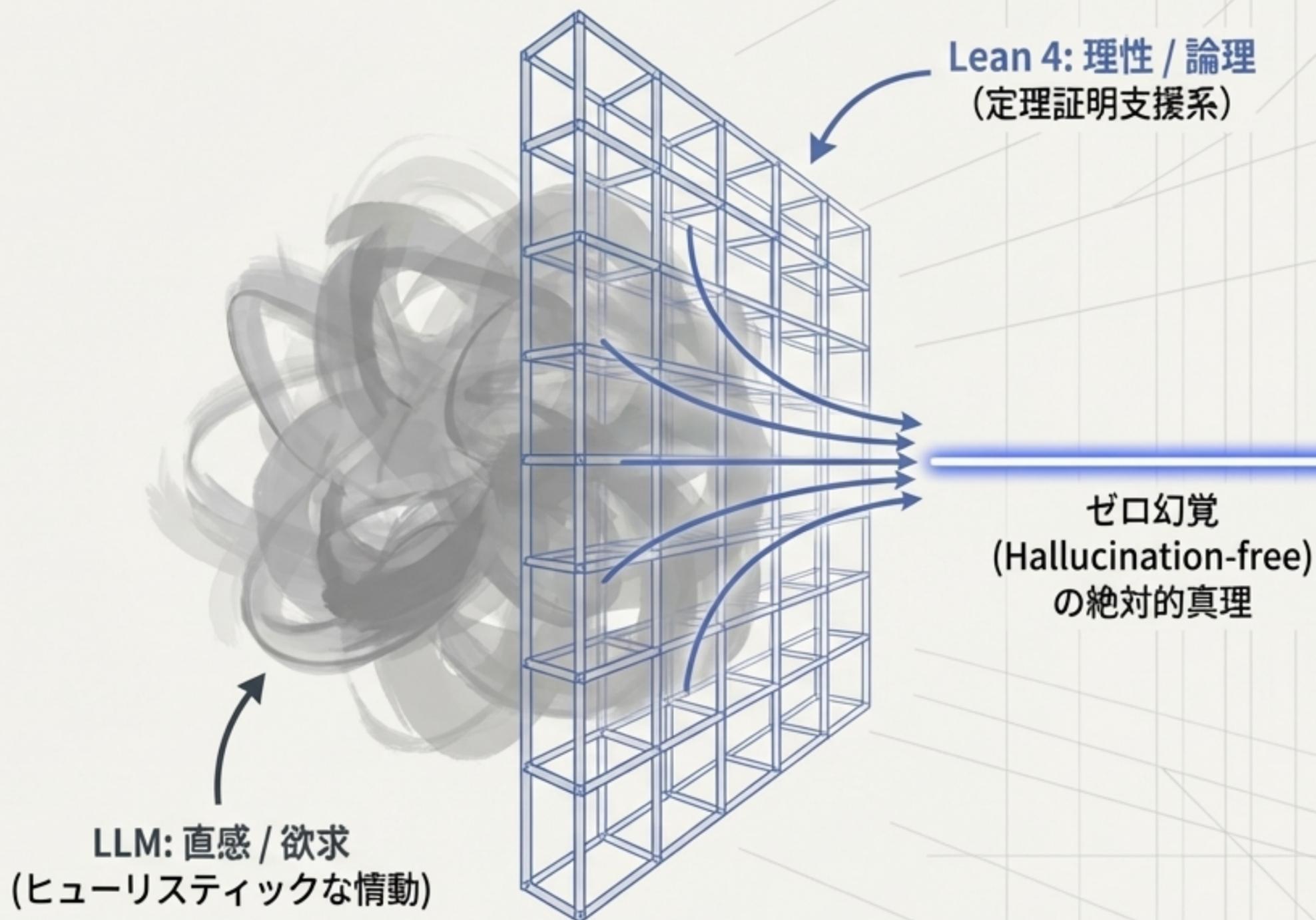
数学の推論能力を極めることが、広範な領域における汎用的かつ厳密なAIの実現に直結するという確信。

## システムレベルの相互作用

アリストテレスの枠組みにおける「理性」と「欲求」の相互作用をAIアーキテクチャとして実装。LLMの直感を形式論理が操舵する。

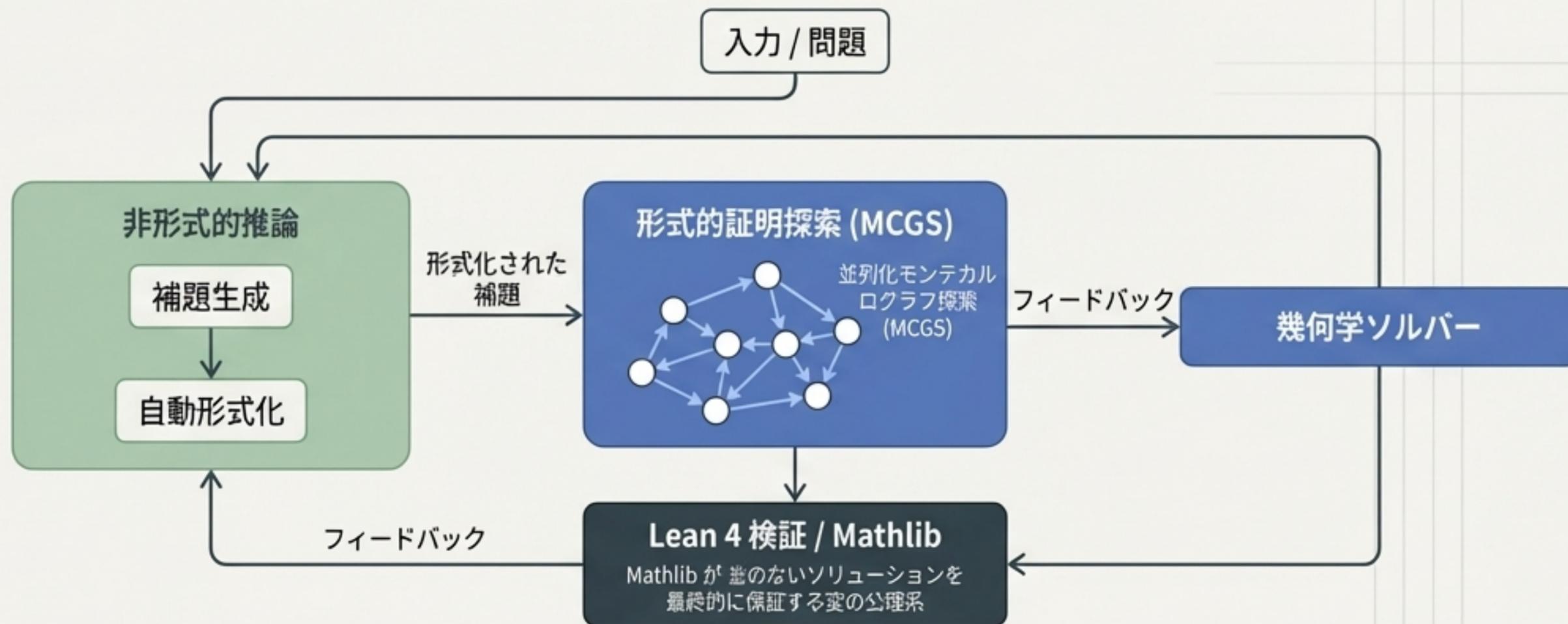
## 能動知性と受動知性

不変の公理系（能動知性）と、動的な探索アルゴリズム（受動知性）を組み合わせ、システム全体をエラーから守り抜く。



# ニューロシンボリック・アーキテクチャの統合プロセス

Aristotleの技術的ブレイクスルーは、自然言語による非形式的推論と、コードによる形式的検証の高度な統合にある。



## 1. 非形式的推論

LLMが命題を補題に分解し「動的な思考予算」を割り当て、自動形式化 (Autoformalization) を行う。

## 2. 形式的証明探索

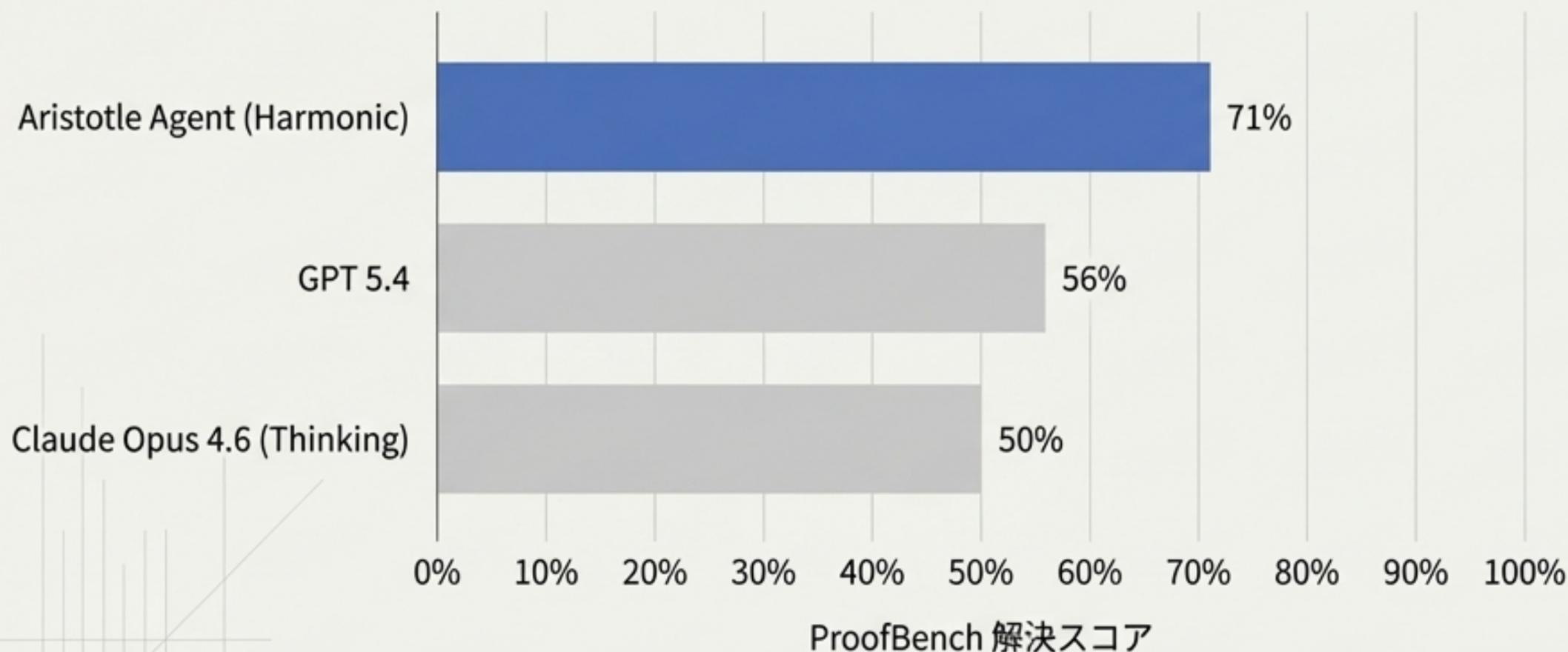
並列化モンテカルログラフ探索 (MCGS) が、等価な状態を統合してツリーからグラフへと変形し、計算効率を最大化する。

## 3. Lean 4 検証

ギャップや不健全な公理のないソリューションを最終的に保証する不変の公理系 (Mathlib)。

# 定量的証明：ProofBenchにおける圧倒的優位性

最先端の汎用基盤モデルが形式数学において限界を迎えつつある中、専用に構築されたエージェント型アーキテクチャがいかに優れているかを定量的に実証。



## テスト環境: ProofBench

非形式的なヒントなしに、Lean 4で完全に受理される形式的証明をゼロから生成する過酷なテスト。確率解析、代数幾何学など大学院レベルの現代数学を網羅。

## ○ 15ポイントのリード

汎用LLM (GPT 5.4) に対して推論の連鎖全体にわたって論理的正確性を維持する能力を証明。

# 実世界での歴史的快挙と、それを支える極限のインフラ

## 歴史的快挙 (Achievements)

### IMO 2025

6問中5問の形式的解決策を提供し、  
金メダル相当のパフォーマンスを達成。

### エルデシュの問題 (#124)

30年間未解決だった整数べき乗に関する問題を、  
最大24時間の完全自律稼働（人間の介入なし）で  
単独証明。「そのままライブラリに統合可能な  
コード」を生成。

## インフラストラクチャ (Harmonic Open Source)

### [REPLサービス]

GPUに依存せず、安価なインスタンスを用いてGKE  
上で数十万のCPUコアへ動的にスケーリングし、  
無限の並列計算を支える。

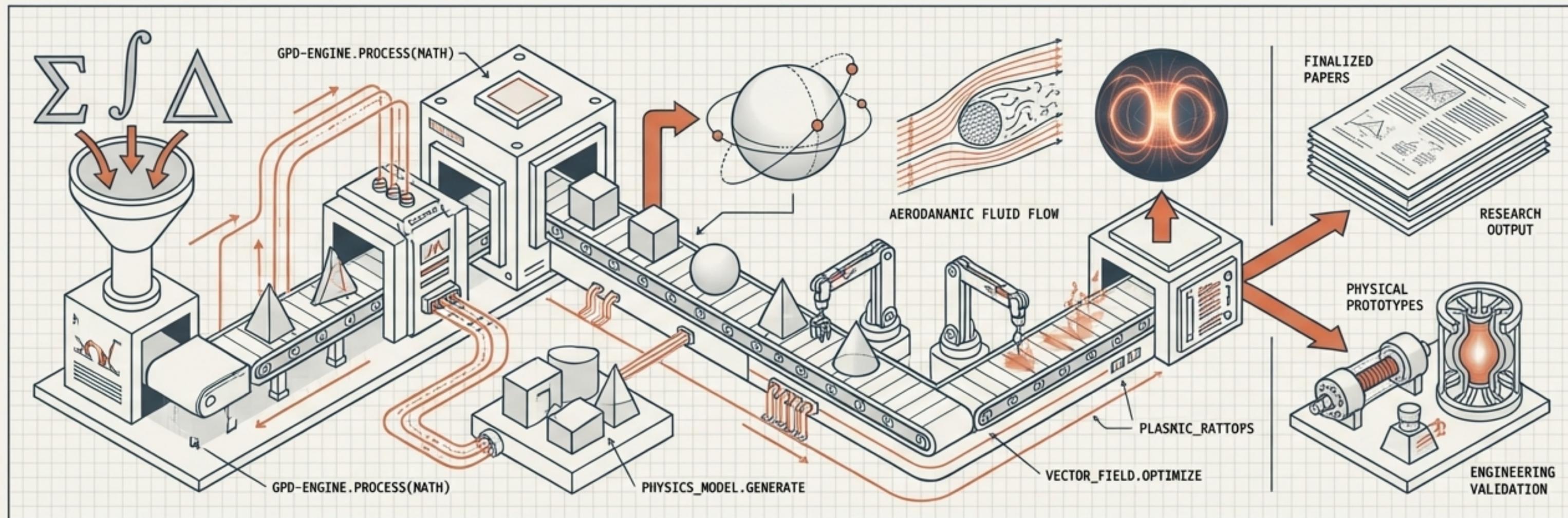
### [pbccコンパイラ]

Python標準のProtocol Buffersが抱える2GBの  
メモリ限界を突破する事前コンパイル (AOT) ア  
プローチ。

### [python-memtools]

基本タイプオブジェクトのシグネチャを利用し、  
ハングアップする非同期タスクの深層デッドロック  
を正確に特定するプロファイラ。

# Get Physics Done (GPD) : 「科学的発見の工業化」



## ビジョン (Vision)

人間の直感や偶然に基づく単発的な発見から脱却し、人工超知能の力で「科学的発見を工業化」する垂直統合型ファクトリーの構築。

## スコープ (Scope)

困難な物理学の研究課題を自律的に支援。最大18の異なる物理学分野にまたがり、表記法、符号の選択、前提条件の一貫性を厳格に維持。

## 適応性 (Runtimes)

単一のLLMに依存せず、Claude Code, Codex, Gemini CLI, OpenCodeなど、複数環境に統合可能な極めて柔軟な設計。

# エージェント型物理学者の自律的ワークフロー

GPDは物理学者が論文を執筆するまでの実際の思考プロセスを模倣し、長期的な視野を必要とする研究プロジェクトを「永続的なコンテキスト構造」として管理する。

## 1. 定式化 (Formulate)

ユーザーに質問し、物理的仮定、表記法、目標を明確に定義。

## 2. 計画 (Plan)

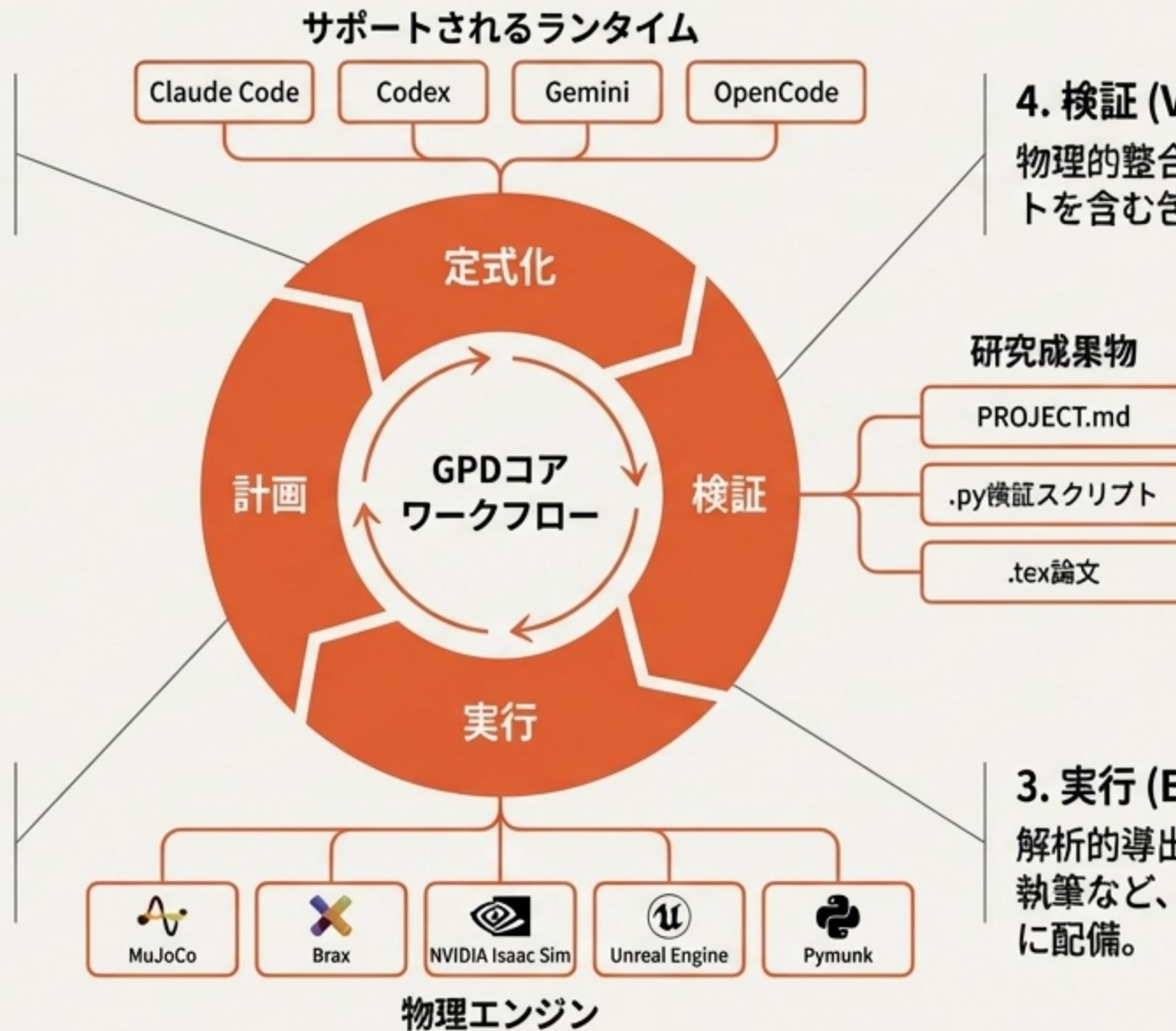
具体的なタスクと依存関係からなるロードマップを生成。

## 4. 検証 (Verify)

物理的整合性や数値的な収束テストを含む包括的な監査を実行。

## 3. 実行 (Execute)

解析的導出、数値的チェック、論文執筆など、専門エージェントを動的に配備。



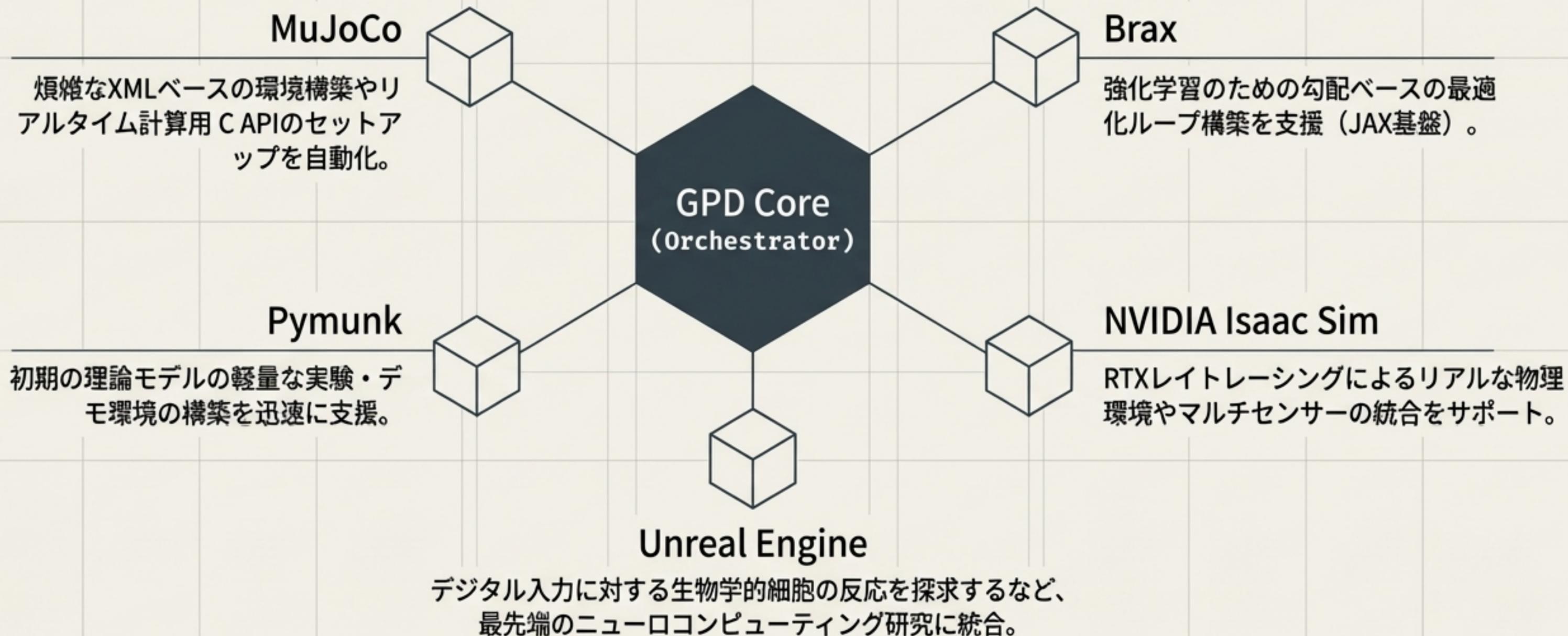
# 厳密な物理検証機構：AIを「コーダー」から「物理学者」へ

研究結果の科学的完全性を監査する専門的な「物理検証コマンド群」。一般的なコーディングAIと一線を画す、厳格なAI査読者としての機能。

Diagnostic Dashboard		
検証コマンド (Command)	診断機能 (Diagnostic Function)	科学的価値 (Scientific Value)
<code>/gpd:dimensional-analysis</code>	次元解析	導出された全方程式の単位の一致を監査し、根本的な誤りを瞬時に検出。
<code>/gpd:limiting-cases</code>	極限ケース検証	質量ゼロや光速接近など、極端な条件下で物理法則が崩れないか検証。
<code>/gpd:numerical-convergence</code>	数値的収束テスト	グリッドサイズや時間ステップ変化時の計算の安定性と精度を保証。
<code>/gpd:validate-conventions</code>	規約の厳格化	計量の符号関数や座標系規約の崩れを防ぎ、長期プロジェクトの不整合を排除。
<code>/gpd:error-propagation</code>	誤差伝播の追跡	初期条件の誤差が複雑な計算を通じてどう増幅するかを定量的に追跡。

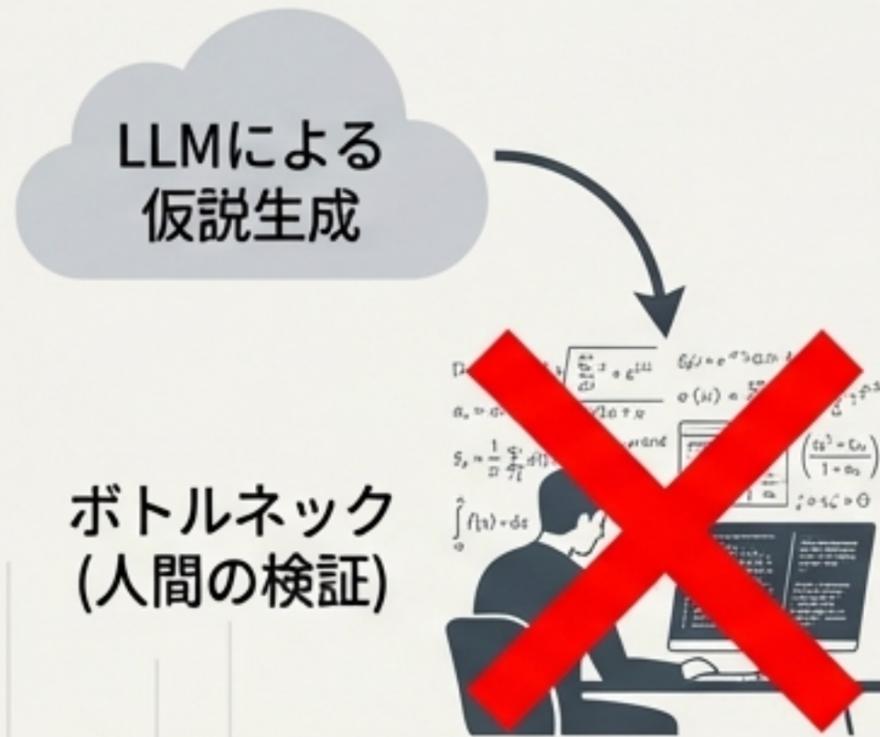
# 物理シミュレーションとロボティクス環境のオーケストレーション

計算資源を操作し、デジタル空間から物理空間（Physical Intelligence）への移行を支えるインフラストラクチャ。



# “Verification Problem”の解消：人間の検証からの解放

## 現状 (The Problem)



高度なコンテンツを生成できても、人間による正当性の検証が不可避。

## 自動化パイプライン (The Solution)



## 到達点 (The Result)

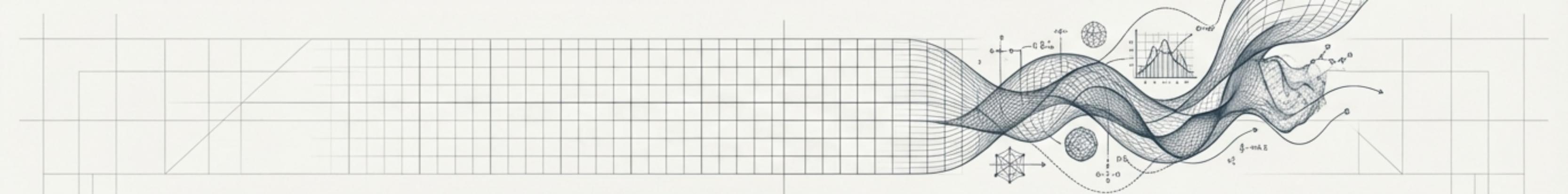


ミッションクリティカルな領域への適用。検証のボトルネックが完全に解消される。

# 究極の統合：科学的知見を自動生成する両輪

純粋な論理（形相）と物理的現実（質料）の融合。科学研究における全く異なる認識論的要請に完全に応える二つのパラダイム。

Parameters	Aristotle Agent	Get Physics Done
[対象領域 (Domain)]	純粋数学・形式論理・ソフトウェア工学	理論物理学・シミュレーション・ロボティクス
[哲学のメタファー]	形相 (Form) – 論理的構造	質料 (Matter) – 物理的振る舞い
[真理の性質 (Truth)]	演繹的确实性 (Deductive Certainty)	経験的・数値的妥当性 (Empirical Validity)
[コアエンジン]	Lean 4 (定理証明) + MCGS + LLM	複数LLM + 物理シミュレータ (MuJoCo等)
[検証アプローチ]	公理に基づく絶対的証明	次元解析・極限ケース・実験照合



# 科学的新時代の幕開け：研究者の役割の再定義

論理的飛躍のない演繹（Aristotle）と、現実世界を正確に模倣・検証する  
帰納的シミュレーション（GPD）が融合する時、  
人類は科学的発見を「工業的スケール」で生み出す。

---

周辺作業（表記の統一、収束確認、シミュレータ構築）は完全に自動化される。  
人間の研究者は、AIに提示するべき「より根源的で創造的な仮説の立案」という、  
真に人間的な営みのみに専念する。

SYSTEM LOGOUT: THE GOLDEN AGE OF PHYSICS INITIALIZING...

