

AIを活用し高専ロボコンを題材とした設計提案

遠藤 大希, 櫻庭 崇絢

Design Proposal Using AI and the Subject of a KOSEN Robocon

Hiroki T ENDO, Takahiro SAKURABA

(Received on Jan. 31, 2025)

Abstract

In this technical note, we used ChatGPT to analyze the rules of the KOSEN Robot Contest (Robocon), conducted a case study, and subsequently examined the results. From a technical perspective, detailed analyses based on TRIZ and the automatic generation of well-reasoned design proposals were successfully demonstrated. On the other hand, attempts to obtain multiple responses in a single query resulted in issues such as hallucination and inconsistent reproducibility, leading to suboptimal outcomes. Consequently, it became evident that a step-by-step, dialogue-based approach is more effective. Moreover, since multiple rounds of iterative “wall-bouncing” discussions are required, we developed a teaching resource that leverages the benefits of discussion and teaching as advocated by the Learning Pyramid.

キーワード：生成AI, ChatGPT, TRIZ, 高専ロボコン

1. はじめに

近年、大規模言語モデル(LLM)による各種生成機能を有した人工知能の社会での普及が著しい。その代表格で、今回取り上げるのは2015年にイーロン・マスク氏やサム・アルトマン氏が設立した米国の非営利法人OpenAI Incが運営するChatGPTである。同社は『OpenAIの使命は、汎用人工知能（AGI）、つまり経済的に最も価値のある仕事において人間を凌駕する高度に自律的なシステムが、全人類に利益をもたらすようにすること』と憲章¹⁾で論じている。同社はLLMを提供し、その使命のもと、産業や研究分野に大きな影響を与えている。代表的な製品には、ChatGPTシリーズ（4o, o1）、DALL-E（画像生成モデル）、Codex（コード生成モデル）などを提供している。

このAIの普及により社会の利便性が著しく向上し、構造変化が起きている。一方で、利用人口の増加に伴い、法令遵守やモラルの欠如といった課題も発生する。工学教育機関所属の教育者は、社会の発展に大きく帰依する機材については、安易に禁止するのではなく、正しい方法を次世代に教育することが使命と考える。

本稿の著者である遠藤・櫻庭の両名は高専教員である。遠藤は設計法教育について研究し、櫻庭はロボット技術研究部顧問として学生のロボット設計教育を推進していることから、今回ケース・スタディを実施し報告する。

本稿では第36回 アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト2023（高専ロボコン2023）の課題「もぎもぎ！フルーツGOラウンド」のルール²⁾をChatGPTに分析させ、以下の分析とケース・スタディを実施し、最終的にその結果について考察・コメントする。

- ① 高い汎用性を有するChatGPT-4oを用い、鶴岡高専ロボット技術研究部がロボット設計において実施した戦略方針について、発明的問題解決理論（TRIZ）に基づき設計戦略方針を分析し、その結果を評価する。
- ② 高い推論能力を持つChatGPT-o1にルールを分析させ、設計戦略方針を提案させる。この提案に対しフィードバック（FB）を行い、最終的に生成された設計提案書の有効性を評価する。

2. TRIZによる鶴岡高専ロボット技術研究部の戦略方針の分析

2-1 TRIZとは

TRIZ(発明的問題解決理論)は、旧ソビエト連邦でG.アルトシューラーにより開発された問題解決手法であり、技術的課題を体系的に解決する³⁾ことを目的とする。今回は矛盾マトリックスと発明原理に焦点を当てる。問題を「改善特性」「悪化特性」に分類し、図1に示す「39の矛盾マトリックス」を用いて適切な「40の発明原理」から解決策を導出する。例えば移動物体の重量が悪化特性、移動物体の長さが改善特性の場合は拡大図のように発明原理8, 15, 29, 34のいずれかを適用すればよい。

TRIZの考え方を象徴する有名な寓話の存在だが、1960年代米ソ間の宇宙開発競争において、無重力環境ではボールペンが使用できないという問題が発生した。この問題に対しアメリカは多額の予算を投じて無重力環境でも使用可能なボールペンを開発し、一方ソビエトは鉛筆を使用したとされている。この「ボールペンと鉛筆」は俗に言うホラ話とされているが、TRIZの理論に則り寓話を評価した場合、合理的な解決策である。

この寓話における改善特性は「使いやすさ（無重力環境で自由に文字を書くこと）」、悪化特性は「製造の難しさ（無重力環境で使用可能なボールペンの製造）」である。この改善特性・悪化特性を矛盾マトリックスに当てはめると、適用すべき発明原理2(分離・抽出)、5(組み合わせ)、12(等位特性)、これらの選択肢が該当する。この鉛筆の利用は複雑なボールペンの機能を分離し、紙にこすれば無重力環境であれ字が書ける、2分離、12等位特性を適用していることがわかる。

また、ChatGPTシリーズではTRIZを用いた分析が可能となっている。これは、多くの技術者がChatGPTを活用してTRIZによる分析を行った結果、AIがその手法を学習したことに由来すると考えられる。

		悪化特性		
改善特性			1 移動物体の重量	2 固定物体の重量
	移動物体の重量	固定物体の重量	+ (Grey)	+ (Grey)
1 移動物体の重量	2 固定物体の重量	+ (Grey)	+ (Grey)	
3 移動物体の長さ	8, 15, 29, 34	(Circled)	(Circled)	
4 固定物体の長さ	35, 28, 40, 29	(Circled)	(Circled)	

図1. 矛盾マトリックス

2-2 高専ロボコン2023鶴岡高専の戦略方針分析

高専ロボコン2023における鶴岡高専ロボット技術研究部の戦略方針について、櫻庭は過去の講演⁴⁾で以下のように説明している。

1. **目標戦略:** 勝利への最短ルートを目指し、特定の高得点フルーツ(ミックス×2、ぶどう×1)の獲得を優先
2. **移動方針:** スピードの速いロボットで素早くセンターゾーンに入り高得点フルーツを獲得、周回ゾーンのフルーツは無視
3. **障害突破:** 角材は勢いで突破、ロープは下の隙間を通過することで時間短縮
4. **収穫方法:** 2.4mの長く必要十分な剛性を有するアームを使用し、高所のフルーツを収穫
5. **構造設計:** 低重心・低車高で転倒防止とロープ対応を両立
6. **機能の最適化:** 強力なモーターの搭載、必要最低限の機構に絞り軽量化
7. **リソース管理:** 装飾排除、CAD・3Dプリンタによる部活動時間外での設計作業や無人の自動加工で人的・時間的リソースの管理

これらの戦略方針はプロンプト(AIに与える指示・質問テキスト)としても利用するとともに、ロボコンルールブック²⁾をChatGPT-4oに分析させ、以下の2つのアプローチを比較・評価する。

- ① **一括分析:** 全戦略方針を一括で入力し、包括的な分析結果を得る。
- ② **対話式分析:** 各戦略方針を逐一対話形式で入力し、それに基づく分析結果を得る。

2-2-1 一括分析

一括分析では矛盾マトリックスのアップロードと同時に、以下のプロンプトを入力し分析を試みた。

この表(矛盾マトリックス)とルール情報を基にロボコンの戦略方針をこれから伝えます。これを TRIZ の悪化特性・改善特性を分析し、最終的にどの発明原理が適用されているか分析して。また悪化・改善特性(番号)/ 対応する発明原理/実際に適応されている発明原理と番号/分析した理由を必ず明記した表で出力して

出力された結果を表 1-1 に記す。表 1-1において、下線で示した箇所は参考文献の本来の矛盾マトリックスと異なる分析や、戦略方針と一致しない結果を示している。例を挙げると 1. 目標戦略方針の悪化特性が「固定物体の重量」となっている。ロボットは移動物体なので誤りであるし、その結果として後段の分析も誤っている。

一方、すべての分析が間違っているわけではない。戦略方針 3・7 などは適用外の発明原理は誤っている場合もあるが、適用されるものに関しては妥当な分析を行っていることが確認される。

表 1-1. 一括分析表（書式を除き原文）

戦略方針	悪化特性 (番号・名称)	改善特性 (番号・名称)	適用可能 発明原理	適用された 発明原理	分析理由
目標戦略方針	<u>2. 固定物体の重量</u>	9. 速度	<u>8, 10, 18,</u> <u>37</u>	<u>10. 先取り作用</u>	速度向上のために軽量材料の使用と補助メカニズムの事前準備が実施された
移動方針	5. 移動物体の面積	10. 力/トルク	<u>15, 29, 34</u>	<u>34. 均質性</u>	機構の特定部分に対して高強度な材料を使用することで、力の最適化を実現
障害突破	7. 移動物体の体積	21. 出力	<u>1, 35, 40</u>	35. 物体の物理的または化学的状態の変移	ロボットのサイズ調整により効率的な出力向上が可能に
収穫方法	12. 形状	3. 移動物体の長さ	<u>14, 17,</u> <u>30, 32</u>	<u>17. 一次元から多次元</u>	形状変更により、異なる課題に適応できる多機能構造を採用
構造設計	<u>20. 固定物体のエネルギー消費</u>	22. エネルギー損失	<u>28, 31, 36</u>	<u>31. 多孔性の材料を使</u>	エネルギー管理のために多機能システムを活用
機能の最適化	19. 移動物体のエネルギー消費	9. 速度	<u>12, 18,</u> <u>28, 31</u>	<u>12. 等位特性</u>	軽量化により、移動速度の向上を図る
リソース管理	26. 物質の量	25. 時間の損失	35, 38, 18, 16	35. 物体の物理的または化学的状態の変移	時間短縮のために自動加工を活用し、人的リソースを最適化

2-2-2 対話式分析

対話式では以下のようなプロンプトで TRIZ の分析を実施した。また、2-2-1 同様に矛盾マトリックスの表を比較させている。

ロボットは手動操作により、制御されている前提で以下の手順で分析を行ってください

1：ロボコンの戦略方針を入力する

2：戦略方針について悪化特性と改善特性を分析し最も重要と考えるものを1個列挙する

3：分析した悪化特性と改善特性が交差する矛盾マトリックスの発明原理の番号を列挙する

4：列挙された発明原理の中から、適用されている発明原理の番号を表示する

5：なぜその発明原理が適用されているのか説明する

6：これを下記のような様式で記載して

悪化特性：番号. 悪化特性の分析の結果

改善特性：番号. 改善特性の分析の結果

表内の発明原理：TRIZ 矛盾マトリックスの枠の値

対応する TRIZ 発明原理：番号

発明原理名 発明原理の意味説明

適用理由 なぜその発明原理が対応したのか 100 文字程度の説明

このように分析を指示した結果、1. 目標戦略方針では以下のような返答が得られた。

悪化特性：1. 移動物体の重量 (高得点フルーツを運ぶことで重量が増加)

改善特性：33. 操作のしやすさ (短時間で獲得するための操作性向上)

表内の発明原理：25, 2, 13, 15

対応する TRIZ 発明原理：25

発明原理：25. セルフサービス

発明原理の意味説明

システムや装置を利用者自身が操作できるようにし、効率的な動作を可能にする手法。

適用理由

ロボットの操作モードを変更可能にし、状況に応じた最適なフルーツ獲得方法を実現する。

この結果は簡潔での的を射た分析である。その後、戦略方針 2~7 についても同様の分析を行った。しかし、中にはルール違反に該当する回答など、あまり的を射ない分析が含まれていた。そのため、該当する回答には FB を実施し、分析の修正を試みた。

表 1-2 では、すべての分析結果に加え、各戦略方針に対して実施した FB の回数も記載している。これにより、各戦略方針における分析結果の妥当性と、改善に必要だったプロセスの詳細を比較できるようにしている。

2-3 TRIZ 分析の考察

今回の ChatGPT-4o を用いた分析を通じて、以下の点が確認された。

- ・一括分析では、適用可能な発明原理を誤るケースが見られた。
- ・対話形式での分析は、深堀りを行うことで妥当な分析結果を示した。

これらの結果から、ChatGPT-4o は同時並列処理には向いていない一方、対話形式で繰り返しやり取りを行うことで、分析の精度が向上する可能性が示唆される。

また、いずれの分析においても、戦略方針 1・2・4 では誤りや複数回の FB が求められた。これらの戦略方針に類似する問題について、ChatGPT-4o において TRIZ 利用者があまり分析を行わない分野である可能性がある。学習が十分でない分野であるため、適切な学習が行われず、誤った分析や複数回の FB が必要となったと考えられる。

表 1-2. 対話分析表（書式を除き原文）

戦略方針	悪化特性 (番号・名称)	改善特性 (番号・名称)	適用可能	適用された 発明原理	分析理由	FB 回数
目標戦略方針	1. 移動物体の重量	33. 操作のしやすさ	25, 2, 13, 15	2. 分離・抽出	操作を単純化し、フルーツ獲得の動作精度を向上させることで、短時間での収穫が可能になる。	3
移動方針	10. 力/トルク	9. 速度	13, 28, 15, 19	13. 逆(リバース)	高速移動時の負荷を軽減するため、通常の加速・減速の考え方を逆転させ、ブレーキ制御を最適化することで、スムーズな動作を実現する。	2
障害突破	10. 力/トルク	9. 速度	13, 28, 15, 19	13. 逆(リバース)	障害物を突破する際の動作を逆転させ、勢いによる突破と低抵抗経路を組み合わせることで最適化する。	1
収穫方法	3. 移動物体の長さ	14. 強度	1, 15, 8, 35	1. セグメントーション(細分化)	アームを分割構造にすることで、状況に応じた長さの調整や剛性の最適化が可能になり、収穫の安定性を向上させる。	2
構造設計	3. 移動物体の長さ	14. 強度	1, 15, 8, 35	1. セグメントーション(細分化)	低重心設計を維持しながら、車体の一部をモジュール化することで、ロープ障害への対応能力を高めつつ転倒リスクを低減する。	1
機能の最適化	1. 移動物体の重量	21. 出力	8, 36, 38, 31	8. つりあい	強力なモーターの重量増加に対して、ロボットの全体設計を見直し、重心や配置を最適化することで、軽量化と高出力の両立を実現する。	1
リソース管理	23. 材料の損失	25. 時間の損失	35, 28, 34, 4	28. 機械的システムの代替	従来の手作業ではなく、CAD や 3D プリンタによる自動化を活用することで、効率的な製造を実現する。	1

3. 設計提案書の作成

ChatGPT-o1はChatGPTにおいて推論学習に特化したモデルであり、画像解析などの汎用性を伴うタスクには不向きとされているが、問題の分析には優れている特徴をもつ。このChatGPT-o1に対して、2章同様にルールを入力し、問題点と解決策をどのように講じるか検証した。

著者らが列挙された問題点に対しFBと採点を行い、これに対しChatGPT-o1が返答、再度FBを行うというフローで対応した（図2参照）。以下は各行程で入力したプロンプトである。

①～②行程

こういうルールのロボットコンテストがある。勝負に臨む戦略方針と、ロボットを開発設計する戦略方針を6個程度箇条書きで提案して

→このプロンプトに対し、ChatGPT-o1 は、付録表 1 における「要素・大項目」2-1 から 2-6 の提案を返答した。素晴らしい提案です。いまの提案をエクセル形式で表示して

→ChatGPT-o1 は直接エクセル形式での出力はできないため、コピー可能な表形式で出力された。

③～④行程

以下の点に留意してFBの指摘、それを踏まえての設計の再提案、FB指摘に対する回答を表で示して

1～4の数字は提案の採点結果である、1が最低で4が最高

4で採点されているものは良好なものなので改善の必要はない

付録表1は、②～⑤行程の結果を示したものであり、ChatGPT-o1がやり取りの過程を通じて行った分析内容を記録している。また、チャットによる対話をを行うことで精度を上げることは可能であるが、ChatGPT-o1はオペレータの意図を完全に理解することはできない。このため、FBによりコメントした内容を、どのように理解したか出力させている。（付録表1「AIが理解した専門家のFBの内容」項目参照）

⑤～⑥行程

行程⑥では、TRIZのフレームワークに基づく分析を行った。TRIZは問題解決において、議論を収束させるのに適した手法であるため、このフレームワークを採用した。付録2は、①～⑥の過程を反映し、最終的にChatGPT-o1が出力した設計提案書、およびその設計提案書を基にChatGPT-4oの画像生成機能を用いて生成されたイメージ画を示している。また設計提案書はChatGPT-o1の作文能力（インデントや番号等の書式）を記録する目的も含め、できるだけ原文をそのまま掲載している。

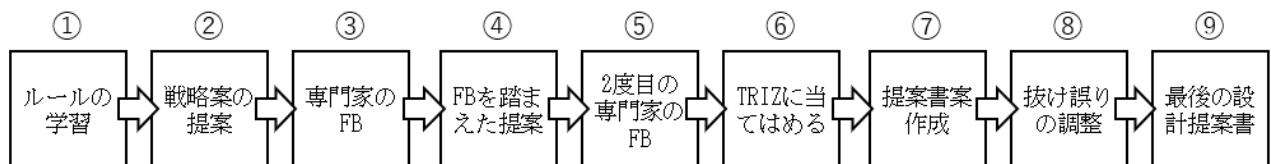


図2. 設計提案書作成のフロー

4. 考察・著者らのコメント

4-1 遠藤の考察とコメント

・技術的な観点

TRIZによる実際のロボットの分析と設計提案書のFBなどの一括分析では、文章の抜けや誤りの発生が多発する傾向が確認された。このことから、現行のChatGPTシリーズ、チャット形式による対話を通じて、情報を積み上げて書類を作ることで、設計企画立案の段階では十分に利用可能な精度の高い文章を生成することを確認することができた。

ChatGPTをはじめとしたAIが生成した文章の誤りは、ハルシネーションと呼ばれ、いわゆる「AIが嘘をつく」現象に該当する。学習していない事柄を問われた際に誤った情報を回答する^{5,6)}。2-2-2・2-2-3で生じた誤りはその典型的な例であると考える。近年では大規模データによる学習量の増加によってこの現象の発生頻度は減少傾向にあるが、プロンプトAIのオペレータはこの誤りの有無を常に確認し、必要に応じて修正することが求められる。

また、ハルシネーションに加えて、AIの特徴の一つである「再現性の不完全性」も指摘できる。たとえばAIに「1+1は？計算過程だけ示して」と単純問題を尋ねた場合であっても、図3に示すように回答が常に同一にはならない。このため、付録表1で示す「AIが理解した専門家FB（フィードバック）の内容」のように、入力したコメントと、一字一句一致する文章やそれに対する厳密に対応する返答は得られない場合が多い。

こうした問題を軽減するには、前述のようにチャット形式で対話を重ね、プロンプトの入力内容・出力結果を確認・修正することがオペレータに求められるものと考える。

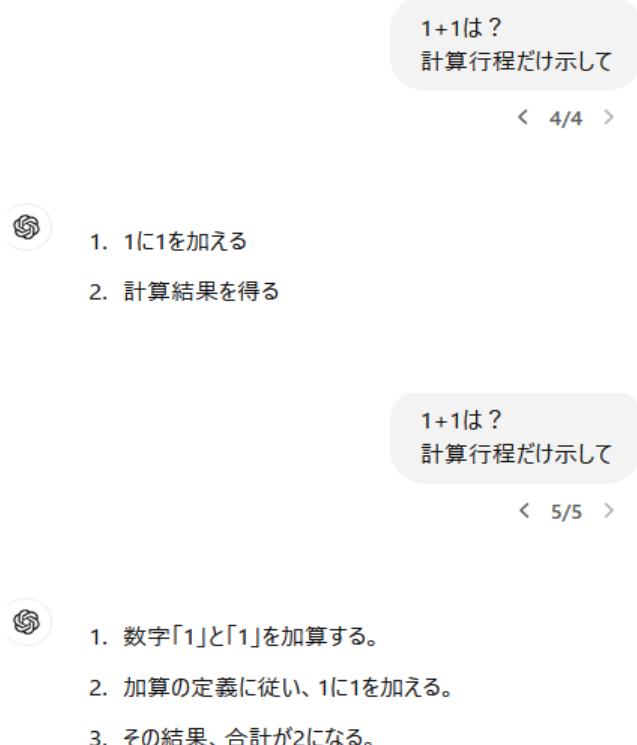


図 3. 同じ単純質問による LLM-AI の再現性に関する実験の結果

・教育的な観点

技術的知見が十分備わっていない学生にとって、対話形式のチャットを活用した壁打ちでの設計書制作作業は、「ディスカッションを行う」活動に該当し、巧みなプロンプトを作成する行為は「他者に教える」ことに類似しており、ラーニングピラミッドの理論⁷⁾に基づくと効果的な学習活動と位置づけられる。また、一定の時間を置いて反復的に壁打ち作業を行うことで、間隔反復による記憶定着効果^{8,9)}も期待できる。

近年、国内では宮国らによる探求学習計画の立案¹⁰⁾や、海外における英語学習¹¹⁾などにおいて、ChatGPTがこのような壁打ち学習のパートナーとして有用であることが報告・報道されている。

高専ロボコンは高専生の技術・知見などの向上を目的とした教育コンテンツである。このため、AIと壁打ち作業により設計の提案書を作成することで、工学の知見やAIオペレーションを身に着けるのに優れた教育題材であると考える。

4-2 櫻庭の考察とコメント

本考察は高専ロボコンに対する ChatGPT-01を用いた設計提案に焦点を当てて記述する。

3章「設計提案書の作成」の結果から、AIによる設計提案は誤情報を持たざる欠点を理解したうえで、参考資料として使用するのであれば非常に有用なツールとなり得ることが確認された。例として競技フィールド上に存在する段差障害を乗り越えるための「大径ホイール」や「クローラー」の使用、狭隘空間における方向転換のため「その場旋回機能」の実装が提案されており、これは2023年大会優勝校のロボットで採用された機構である。ただし、優勝校のロボットはその3機構を組み合わせた機体であるが、AIからは機構の組み合わせに関する提案はなされていないことに注意が必要である。また、ロボットにバンパーなどの保護材を装着し、相手ロボットとの接触時におけるダメージ軽減が提案され、競技用ロボットの製作で軽視されがちな安全性に対する注意喚起がなされている。

一方、ルールの理解が不十分な提案や明らかな愚案、内容が不明瞭な提案、自明であり論を俟たない提案も存在する。例として競技フィールド上に存在するロープ障害は避けて通れないルールであるが、「ロープが無いコースの選択」が提案されている。また、段差障害の高さが75mmであるのに対し「乗り越える

ために直径150mmのキャスターを使用」という提案も現実的ではない。他にも、構造が想像できない機構や意図が理解できない機構が存在する。さらに、提案書では複数の機構が提示されているが、それぞれ個別の提案に留まっており、競技に対する全体的な戦略方針や組み合わせるべき機構、組み合わせるべきではない機構についての言及がなされていない。

これらを踏まえ、AIによる設計提案は有用な提案と不適切な提案が混在しており、その判断が使用者に委ねられるという点に注意が必要であると結論付けられる。本提案書は高専ロボコンのルール発表直後に提出し、戦略方針および設計検討における参考資料としての活用を想定しているため、提案内容の是非は主たる使用者である学生により判断される。ロボット設計の経験が豊かではない学生にはこの判断作業が負担であることや、判断を誤った場合に実現不可能なロボット製作に挑戦し続ける可能性が懸念される。しかし、いくつかの有用な提案も存在するため、教員や有識者等が適切に補助することで十分な効果をもたらすことが可能であると考える。また、提案文に加えてイメージ図なども出力可能であると迅速な提案内容の理解に繋がるため、文章と画像を同時に提出させ、それらの整合性を確認するなど、AIによる設計提案に関するさらなる調査が必要である。

5. 最後に

本稿執筆にあたり協力いただいた、鶴岡高専の学生、並びに年次報告発行にかかる委員を含む教職員・高専機構各関係者に感謝の意を表す。

本稿は高専生をはじめとした機械設計者に対し発行された「AI利用マニュアル」の意味合いがある。機械設計に限らず、AIを使用して文章作成を行った場合、その責任は使用者であることを十分に留意する必要がある。本稿の付録2はAIが提出した設計提案書であるが、インデントや箇条書き番号、文字太さなどの書式が不統一な状態のまま、あえて修正せずに掲載している。これは、2025年1月末日時点でのAIの性能ではその作文能力が完璧ではないことを示す目的がある。本稿をマニュアルとして利用する場合はその点についても十分留意していただきたい。

今回はChatGPTを利用したが、日々AIの性能は進歩し、その種別も増え、中には自作のAIを活用する設計者も出てくることだろう。このため、実際に設計に利用した設計者・ロボコニストにおかれでは、次の研究のための重要な情報となるので、第一著者の遠藤(h.endo@tsuruoka-nct.ac.jp)にご連絡をいただきたい。

本稿はChatGPTにさまざまな学習を行わせる都合上、著作権の問題などが懸念された。今回執筆にあたり文化庁ガイドライン¹²⁾調査や一般社団法人著作権情報集中処理機構などへ問い合わせ、著作権法第30条第4項¹³⁾の規定する学術研究を目的とした非享受の分析に該当することを入念に確認し、個人情報漏洩防止に用いられる非学習モード「オプトアウト」に設定しケース・スタディを実施している。

今後多くの教育機関・官庁・民間企業でAIの利用に関し内規が定められることが予測される。本学においても今後AIに関する利用規則が制定することとなっている。本稿の読者諸氏におかれましては、各所属のルールに準拠し、生成AIによる設計提案をご利用いただきたい。

参考文献

- 1) OpenAI, OpenAI憲章, OpenAI Inc, [オンライン]. Available: https://openai.com/ja-JP/charter/?utm_source=chatgpt.com. [アクセス日: Jan. 19 2025]
- 2) NHKエンタープライズ, [オンライン]. Available: https://official-robocon.com/robocon_wp/wordpress/wp-content/uploads/2023/04/kosen_rule_230427.pdf.pdf. [アクセス日: Jan. 19 2025]
- 3) 産業能率大学CPM TRIZ研究会, TRIZの理論とその展開, 産能大出版部, 2003.
- 4) 櫻庭崇絃, 鶴岡高専のロボコン～全国大会への挑戦～, 鶴岡市, Sep. 18 2024.
- 5) 清水宏太, 授業資料, Accessnet_富山高専_生成AI実践授業_20250120, Access net, 富山高等専門学校, Jan. 20 2025.
- 6) 小山航平, 山里 飛鳥ブラックボックス大規模言語モデルにおけるHallucination検出手法の検討, 2024年度 人工知能学会全国大会（第38回）, 2024.
- 7) Wikipedia, ラーニングピラミッド, [オンライン]. Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A9%E3%83%BC%E3%83%8B%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%83%94%E3%83%A9%E3%83%9F%E3%83%83%E3%83%89>. [アクセス日: Jan. 27 2025]
- 8) Wikipedia, 忘却曲線, [オンライン]. Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%BF%98%E5%8D%B4%E6%9B%B2%E7%B7%9A>. [アクセス日: Jan. 27 2025]
- 9) 多根井重晴, 豊田 弘司, 大学生における反復学習に関する実践的研究, 奈良教育大学学術リポジトリ, 2019.
- 10) 宮国泰史, 加藤 司, 杉尾 幸司 探究活動の初期段階における人工知能活用の可能性, 琉球大学学術リポジトリ, 2024.
- 11) M De Simone, Federico Tiberti, Wuraola Mosuro Federico Manolio, Maria Barron, Eliot Dikoru, From chalkboards to chatbots: Transforming learning in Nigeria, one prompt at a time, World Bank Blogs, [オンライン]. Available: <https://blogs.worldbank.org/en/education/From-chalkboards-to-chatbots-Transforming-learning-in-Nigeria>. [アクセス日: Jan. 27 2025]
- 12) 文化庁, 令和5年度 著作権 セミナーAIと著作権, [オンライン]. Available: https://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/pdf/93903601_01.pdf. [アクセス日: Jan. 19 2025]
- 13) e-GOV 法令検索, 著作権法, 19 Jul 2024. [オンライン]. Available: <https://laws.egov.go.jp/law/345AC0000000048>. [アクセス日: Jan. 29 2025]

鶴岡工業高等専門学校教育研究年次報告 第1号

付録表1. AIの設計提案と、それに対するFBの履歴（書式・ページ数の関係上一部は編集している）

要素・大項目	提案名	概要	メリット	注意点	AIが理解した専門家のFBの内容	採点	再提案（設計面の改善案）	回答（提案者からの回答）	再提案・回答に対する櫻庭のコメント
2-1. 高得点フルーツ優先の収穫計画	シンプルアームによる収穫	ロボット上面に2軸程度のアームを取り付け、先端にフックやクランプを装備。上下・回転のみでシンプルに動かし、高得点フルーツも狙う想定	- モーター数を抑えられ、軽量化しやすい	- アーム可動範囲や初期位置を考慮しないとスタート時にロボット外へ大きく飛び出しうれ	「高得点フルーツを本当に収穫できるのか不明」「モーター数が少ない理由が不明」「お助けアイテムの言及がない」	1	アーム単体で高所まで届く根拠が薄いので、**お助けアイテム（伸縮ポール等）**と併用する前提に変更する。	- モーター数削減は、従来の3軸アーム（上下・左右・伸縮など）と比べた場合の話である。	お助けアイテムと併用して高所まで届くようにするというは妥当。というよりそれ以外の方法は存在しない。 「**」とは何を指しているか。 モーター数削減の根拠については承知した。
			- 高度なセンサー制御を省く代わりに操縦者の熟練が必要	- モーター数が少ない比較対象を示す（例：3軸以上のアームとの比較で2軸に減らした）。	- 高得点フルーツを狙う場合は、 2周目以降に伸縮ポール等を装着して高さを確保することを想定。			「自視操作のみで十分狙えるとあるが、他の案も自視では？」とコメントしたが、それに対する認識が行われていない。	
			- 目視操作のみで済む						
	ショートアーム+スライド機構	上下1軸のショートアームに、先端だけ伸縮するスライド棒を装着して高所フルーツを狙う。	- アーム全体を大きくせず重量・サイズ増を抑制	- スライド部分のガタつき防止やストッパー機構が不可欠	「なぜアーム本体を長くするより軽量なのか不明」「お助けアイテムの言及なし」「根元の上下1軸も伸縮になるのでは？」	2	「アーム全長を伸ばすより先端スライド部のみ延長した方が慣性や重量を軽減できる」根拠を具体例で示す（例：カーボンパイプ使用）。	- 基本は上下のみ、先端はスライドのみで済むため、 全長の大大幅延長による剛性・重量問題を回避できる。	理由について、承知した。 間違ったことは言っていない。
			- 先端だけ伸ばせるため制御が比較的シンプル	- 根元も含め、本当に軽量化できるかを検証			- さらに高所を狙うには、 お助けアイテム併用が前提とする案に改める。	- お助けアイテムを考慮しないと1800mm超のフルーツには届かないため、 最終的にポール等を組み合わせて使用する。	お助けアイテムとの併用が必要との認識は妥当。というよりそれ以外の方法は存在しない。 高得点フルーツの獲得と言うからには、2400mmの高さにあるミックスフルーツの獲得について言及してほしい。 「根元の上下1軸も伸縮になるのでは？」という指摘に無回答。
	収穫専用の簡易ネットカッパー	アーム先端を網カップ状にして、ボールをすくい取る方式。ロープを切る危険が少なく、取りこぼしにも強い	- 強い把持力が不要で構造が単純	- 網の大きさや素材により重量が増える可能性	「ロープ切断リスクを減らす」という表現を削除し、 ボール破損を防ぐ安全設計を強調。	2	「網は軽量メッシュを用いれば問題ないが、アーム剛性を確保しないと高所で不安定になる。」		文言変更については承知したが、アーム剛性の確保はこの案に限ったことではない。
			- ボールを傷つけにくく安全	- 高所フルーツを取るにはある程度リーチが必要	「ネット自体は重くならない」「お助けアイテムの言及なし」		- お助けアイテムと組み合わせることを前提に、 最終的な到達高さを実機テストで検証する予定。		「**」とは何を指しているか。 設計段階で最終的な到達高さを検証しない理由が不明。
2-2. 障害物の突破安定性を重視した走行機構	大径ホイール×4輪駆動	直径150~200mm程度のホイールを4輪に装着し、左右2モーター+チェーン駆動などで前後輪を連動。角材・ロープの乗り越えやすさを高める	- 4輪駆動で段差突破性アップ	- 車体が高くなる分、重心が上がりやすい	「4輪駆動と大径タイヤは良案」「ロープを乗り越えるのは非現実的だが、車幅次第で可能性」「メリット・注意点は的確」	4	採点4のため大きな改善不要。ただしロープたるみの実情を考慮し、 本当に踏破が可能か事前検証を行う。	- ロープ突破に無理がある場合はコース取りを変えるとは？	コース取りを変えるとは？どのコースもロープは存在し、避けて通れない。
			- モーター数を減らしつつ4輪化	- 大径ホイールやチェーン分の重量増を考慮			- 大径タイヤで角材を乗り越える点は引き続き有効と判断し、 重心対策としてバッテリーを低位置に配置する予定。		一般的な内容であるが、間違ったことは言っていない。
	後輪2輪駆動+フロントキャスター	後輪だけをモーター駆動とし、前輪に大径キャスターを設置。最低限のモーター数で走行可能にし、段差でのつまずきを軽減	- コスト・配線・重量を抑えやすい	- キャスター径を大きくしないと段差で引っかかりやすい	「キャスター径が曖昧」「段差での引っ掛け対策の具体例が欲しい」	3	キャスター径や位置を具現化し、 段差高さ + α の大きめサイズを選定する。	- キャスター径を例： φ150mm 程度を目標とし、角材高さを十分越えられるよう試作・走行テストを実施予定。	地区大会では最初の段差の高さが75mmである。段差高さ + α のサイズとするというのに、なぜ直径150mm(半径75mm)のキャスターを提案するのか不明。 キャスター半径は段差高さ以上でなければ乗り越えは物理的に不可能。
			- 制御がシンプル（左右差動なし）	- トルク不足だと障害物を越えづらい			- 後輪のモーター出力もトルク重視にし、段差での停止リスクを減らす。		提案内容は的を得ているが、1回目のメリット・注意点も問題はなかった。
	簡易クローラー	ゴムベルトやチェーンにゴムパッドを貼り付け、段差やロープを乗り越える走破性を狙う	- 障害物に強く、安定して走行可能	- クローラー自作は難易度が高い	「クローラーサイズへの言及が欲しい」「ロープ踏破は非現実的（車幅狭いなら別）」「採点1」	1	車幅やクローラー幅を明確化し、 ロープを回避可能な寸法 を設計する。ロープを完全に踏み越えるのが難しいなら、コース選択で避ける戦略を推奨。自作の工数が大きいので、時間や予算の制約があるチームには推奨度が低い。	- クローラー方式は大がかりなので、 十分な期間と工作技術がない と厳しい。	ロープ回避可能な寸法は、ルールに規定されているロープの情報により大まかに導き出せるため、そこまでの言及がなされていてはしかった。 また、ロープを通らないコースは存在しない。（最初の角材エリアを超えないならロープを通らないが、そういう戦略か？） クローラーは時間と技術が必要というのは正しいが、挑戦を阻むほどのものは疑問がある。
			- ロープや段差乗り越えでもスリップしにくい	- 駆動部の重量増で30kg制限に注意			- 最終的にチーム状況によっては他の大径タイヤ案を優先し、クローラーは見送る可能性がある。	1つの戦略（バックアッププラン）としては良い。	

遠藤・櫻庭：AI を活用し高専ロボコンを題材とした設計提案

付録表1. AIの設計提案と、それに対するFBの履歴 (続き)

要素・大項目	提案名	概要	メリット	注意点	AIが理解した専門家のFBの内容	採点	再提案（設計面の改善案）	回答（提案者からの回答）	再提案・回答に対する櫻庭のコメント
2-3. センターゾーン活用&お助けアイテム	軽量伸縮ポール	アルミやカーボンパイプで1kg以下に抑え、2周目以降にロボット上部へ差し込み高所に対応	- 単純構造で拡張性が高い	- 動力無しでどう伸縮するか未記載	'動力を使わない伸縮方法の説明がない」「斜めに差すなら相手に当たる理由が不明」	2	ピン留め式やラチェット式など動力なしで段階的に伸ばせる方法を記述。	- 斜めに差し込む想定はなく、垂直に装着する想定だったが説明不足だった。	ピン留め式やラチェット式ならなぜ無動力化できるのか不明。 垂直に装着するのであれば、なおさら「先端が相手に当たる可能性」に言及している理由がわからない。
			- 装着・取り外しが容易	- 先端が相手ロボットに当たる可能性が不明			ロボット上部にまっすぐ差し込むピン式で伸縮段階を分け、先端が他ロボットに干渉しない長さを目指す。		ロボットの最大サイズが定められているので、それを超えないようにすれば良いだけではないのか？ そもそも垂直に差し込むのに、長さ調整で相手にぶつからなくなる理由がわからない。
	簡易リフト（ばね+ラチェット機構）	ばねの力でアームを上昇させ、好きな段階でラチェットを掛け固定。電動アクチュエーターを使わないので軽量化を図る	- 電動部品不要で安全	- ばね反動が大きいと危険	'構造イメージできずコメント不可」「ばね反動で危険」「ラチェットが壊れると固定不能」	1	図解などでばね+ラチェットの仕組みを明示し、過度な反動が出ない設計（ガイドレールや安全カバー）を追加。	- 本案は少しイメージが難しく、実機試作を行って安全性を確認予定。	「ばね反動で危険」「ラチェットが壊れると固定不可」などとはコメントしていない。 試作する前に図を表してほしい。
			- 部品コストを抑えられる	- 壊れた場合に固定不能			2周目スタートゾーンではばねをセットする際の安全手順も示す。	- 暴発リスクを抑えるため、手動操作で段階的に上げられるラチェットにし、ばね量を最小限に設定する。	段階的に上げられるラチェットとはどういうものか？ また、手動操作とはコントローラーで行うのか、リトライ等選手が行うのか？
			- 予備部品はこの案に限らず必要						この注意点は、こちらがコメントしたものである。
	ロボット上部の“はしご”状拡張	小型の折りたたみはしごをスタートゾーンでロボットに装着。アームをその上に乗せる/はしご自体を伸ばして高さを獲得	- 視覚的に分かりやすく固定しやすい	- はしご素材が重いと重量超過	'お助けアイテムがはしごなのか？アームを分解・組立してなるルール違反？'	1	ルールで「お助けアイテム=1kg以内・分離禁止」など制約があるため、はしごがロボットから完全に分離する形はNGの可能性。	- 現行ルールでは、競技中の分解・組立は厳密に制限される。	質問の答えになっていない。
			- 必要時のみ展開	- ルール上、ロボット分解・組立に抵触しないか要確認			ロボット上部に差し込み式で一体化を維持し、重量を1kg以内に抑える設計が必要。	- はしご自体を超軽量化（アルミパイプ）し、ロボット本体に差し込むだけで「一時に拡張」する形を摸索。	では「はしご」がお助けアイテムという理解で正しいと思われるが、はしごの上にアームに乗せるというのが今までに不明。
2-4. 相手チームの進路を見据えたルート取り	前方確認カメラor超音波センサー	カメラ映像やセンサー情報を操縦者が確認し、相手ロボットとの距離を測って衝突回避	- 相手との衝突リスク軽減	- カメラ遅延やセンサー誤動作の可能性	'不要」「目視で接触回避すべき」「効果が薄い'	1	本案は費用対効果が低く、混信や遅延のリスクを考慮すると導入メリットが小さい。	- 現状、カメラや超音波は採用せず、練習で操縦者が相手との位置関係を把握するノウハウを蓄える計画。	提案変更について承知した。 妥当な修正がなされた。
			- 操縦者が距離感を把握しやすい	- 導入コストやシステムが複雑化			特に初心者チームなら、まずは目視操作に集中する方向へシフトする。	- 余力や予算があれば簡単カメラを装着する可能性はあるが、必須要素とは考えない。	提案変更について承知した。 妥当な修正がなされた。
			- 操縦者目視でも十分対応可能						この注意点は、こちらがコメントしたものである。
	“その場旋回”機能	左右独立モーター（戦車方式）で狭いスペースでもその場回転が可能。相手ロボットと並走していく際に衝突回避しやすい	- コーナーでの操作性が高い	- 旋回時に車体がぶれる・横転リスク	'良案。一般的な内容で特に問題はなし'	採点の記載なし（恐らく3相当）	- 車体の重量バランスを下げ、左右同時逆転時の安定性を確保。	- 採点としては4相当。 重心バランスを下げるのは一般的な内容ではあるが、おかしなことは言っていない。	
			- 2ステップ操作で比較的簡単	- 操作ミスで無駄な動きが増える			今のところ専門家FBで大きな問題がないため、重心位置を低くして横転防止に気を配る程度で対応すればよい。	- 操作者の練習次第でスムーズに衝突回避が可能になる。	間違ったことは言っていない。
	コンパクト設計	フレームサイズを800×800mmよりやや小さめ（例：600×600mm）にして、相手とのすれ違い時のスペースを確保	- 衝突リスクが下がる	- アームやバッテリーを詰め込むレイアウトが厳しくなる	'初期の案としては良い。一般的な内容でおかしなところはない'	3	フレーム縮小化による内部レイアウトの干渉が課題となるため、主要部品の配置を先に検討する。	- まずは600×600mm程度で各部品をシミュレーション配置し、バッテリーやアームの重心バランスを確かめる。	良い提案である。
			- コーナーでの取り回しが楽	- 小さいほど重心が高くなりやすい			安全面やアーム可動域とトレードオフになるので、無理に小型化しすぎない落し所を探る。	- それでも動作に問題があれば、ややサイズを大きくする予定。	間違ったことは言っていない。

鶴岡工業高等専門学校教育研究年次報告 第1号

付録表1. AIの設計提案と、それに対するFBの履歴 (続き)

要素・大項目	提案名	概要	メリット	注意点	AIが理解した専門家のFBの内容	採点	再提案（設計面の改善案）	回答（提案者からの回答）	再提案：回答に対する横庭のコメント
2-5. 迅速なり トライ対応と メンテナンス性	アルミフレーム のモジュール構造	市販のアルミフレーム(30mm×30mm等)で本体を組み、アーム部・走行部などを分割して整備をしやすくする	- 組立・修理が簡単	- ボルトが多いと重量増	「初期の案として良い」「重量増について穴あきしアンダーフレーム等を使い最小限の資材で組む方針を追加。」	4	採点4のため大きな改善不要。	- フレーム切断面はキャップやヤスリで保護。 - 本番で頻繁に分解する時間はないが、事前整備や改造に有用なので現状維持する。	穴あきしアンダーフレームの追加は、初期の案としては良い。フレーム切断面の対応は良い助言である。
			- 追加改造しやすい	- フレーム角や切断面を保護しないと安全面に不安					間違ったことは言っていない。
	上下段分離設計 (駆動部と制御部)	下段にモーター・ギア類、上段にバッテリー・コントローラー・アームなどを配置。故障時にどちらかだけ外して交換しやすいとする	- 故障箇所を切り分けやすい	- 配線コネクタが増えて煩雑	「初期案としては良いが効果は薄い」「重心バランスが良くなる根拠が曖昧」	2	上下分離のメリットは配線整理や事前整備にあると割り切り、本番中の大掛かりな分解は想定しない。	- 大会本番での交換は時間が足りないことが多いため、主に練習・製作段階でのメンテナンス性向上が狙い。	配線整理や事前整備にメリットがある理由がわからない。メンテナンス性が向上する理由がわからない。この構造を採用したロボットの例があれば説得力が増す。
			- 重心バランスを考慮しやすい	- 重心が上がると不安定			重心はバッテリーを下段に配置するなど設計で補う必要あり。	- バッテリーや制御部を下段に寄せる計画を再検討し、重心を低く抑えるよう改良を進める。	ではモータやギアを上段にするのか？そうすると本末転倒では？
			- 大会中に大がかりな分解は難しい						一般的な内容であるが、間違ったことは言っていない。
	スナップ式バッテリーポック ス・工具フリー	バッテリーをマジックテープやワニタッчикリップで固定し、交換時に工具不要にする。衝撃で外れないよう複数箇所で留めてリトライ作業を短縮	- バッテリー交換が數十秒～1分で可能	- 走行時の振動で外れるリスク	「初期案としては良い」「試合中のバッテリー交換は論外だがメンテ面で貢献」	1	試合中のバッテリー交換は想定しにくいが、練習やテストでは有用。	- 工具が要らないことで素早く別バッテリーに切り替えられるのは練習時に大きな利点。	間違ったことは言っていない。
			- メンテナンス性が向上	- 試合中にバッテリー交換する場面は少ない			振動対策を強化し、**二重固定(テープ+バンド)**などを採用してリスクを下げる。	- 試合本番では交換の可能性は低いが、万が一のトラブルを考慮して導入。	振動対策の効果に疑問がある。 「**」とは何を指しているか。
			- 瞬断防止の工夫が必要						間違ったことは言っていないが、「工夫」が必要か疑問。
2-6. 安全かつ アピール力のある 設計・装飾	バンパー+角保護材	ロボット四隅をスポンジやゴム素材で覆い、衝突時のダメージを最小限に抑える。相手や観客への安全面も配慮	- 接触ダメージが減る	- スポンジやゴムを付けたる分だけ外形寸法や重量を考慮	「良案。ロボット寸法を小さく作る必要がある点も指摘してほしい」「内容は問題なし」	4	採点4なので特に改善不要。ただし、バンパー込みでサイズ800×800mm以内に収める必要がある点をマニュアルに追記して意識させる。	- 衝突対策として有用なので、EVAスポンジ等の軽量素材を選択予定。	EVA素材にこだわる理由がわからないが、それ以外は問題ない。
			- 相手にも迷惑をかけにくい	- 競技中に外れない固定が必要				- 大会で破損した場合に備え、交換用の保護材を複数準備する。	一般的な内容であるが、間違ったことは言っていない。
	LEDやカラーパネルで“見せる”演出	電源ON中に点灯するLEDテープやアクリルパネルでチームカラーを強調。審判・観客がON/OFFを認識しやすいうようにする	- 競技ならではの派手さを演出	- LED配線のショート防止	「良案。アクリルパネルが重いのでは？チームカラーを強調する意味が曖昧」	4	採点4で大きな変更不要。ただしアクリルよりも軽量な樹脂板やフィルムを使い、余分な重量を抑えるとよい。	- 赤/青カラー識別や電源ON確認に役立つので、細めのLEDテープを取り付ける方針。	「チームカラーを強調する意味が曖昧」とはコメントしていない。正しくは「アクリルパネルがチームカラーを強調する理由が不明」。フィルムは軽量で良い提案。LEDテープは細めのものとの提案は良い。
			- チームカラーを目立たせられる	- アクリルパネルは重量増の恐れ				- アクリルパネルは極力薄いものに変更し、イベント性と軽量化を両立させる。	アクリルパネルにイベント性がある理由がわからない。
	非常停止スイッチの強調	ロボット対角2箇所に赤い非常停止ボタンを大きく設置。どの方向からでも押しやすくし、安全対策をアピール	- 緊急時に瞬時停止が可能	- ガードを付けると押しつけにくいかも	「ルールで定められているので改めて言うほどでもない。ガードはむしろ付けない場合が多い」	3	競技規則で義務化されているので、過剰に装飾せず、押しやすい配置を最優先とする。	- 規則どおり対角配置を徹底し、大会の安全チェックをクリアできるよう配線を簡潔化。	提案変更について承知した。妥当な修正がなされた。
			- 審判やメンバーが安心感を持てる	- 配線不備で非常停止が効かないと失格			- 配線テストを入念に行い、非常停止が常に有効動作することを確認する程度に十分。	- ガードは不要の可能性が高いため、誤操作よりも緊急時に押しやすい設計を優先。	提案変更について承知した。妥当な修正がなされた。

付録2. 高速走行と高所収穫を実現するロープ潜り型ロボット：TRIZによる設計提案

1. はじめに

- 競技時間：2分30秒
- フィールドの主な障害：
 - 角材ゾーン：高さ 70～100 mm の角材
 - ロープゾーン：高さ 100～600 mm のたるみロープ
- 最大サイズ：800×800×高さ 1600 mm
- 重量制限：30 kg 以内（目標 28 kg 程度）
- 安全要件：非常停止スイッチ（対角 2か所）、衝突時緩衝バンパー等

本提案書では、(1)問題点を多角的に列挙し、(2)TRIZによる問題解析を行い、(3)結論としての問題解決策をまとめ、(4)全体の設計の構想を示して（ロープを潜る方針の詳細・メリットデメリット含む）、(5)(6)(7)で最終的な設計のフローや仕様を提示します。

2. 問題点の列挙

- 2-1. 速度と安定走行； 高速(2.5 m/s)を目指したいが、衝突リスク・制御難度が増す
- 2-2. ロボット重量管理； 大容量バッテリーや強力モーターで 30 kg を超える恐れ
- 2-3. 高所フルーツ収穫； 1800 mm 超の位置を取るにはアームを大幅に伸ばす必要 → 重量・サイズ増
- 2-4. 角材ゾーン突破； 高さ 70～100 mm の角材を安定して乗り越える走行機構
- 2-5. ロープゾーン突破； 上をまたぐと絡みリスク大 → 潜るアプローチが有力だが、車体上部高さや形状に工夫が必要
- 2-6. 衝突リスクと安全； 高速走行・障害物突破で衝突時の破損リスク増 → バンパー・非常停止スイッチ必須
- 2-7. メンテナンスとリトライ対応； 競技中の故障時に短時間で交換修理できる構造が必要
- 2-8. 全体時間管理； 2分30秒で複数周回＆収穫を完遂するため動作を簡潔化

3. TRIZによる問題解析

ここでは、上記 8 項目の中で矛盾・関連性が強い要素をまとめ、TRIZ の矛盾マトリックスを用いた分析を示します。

- 3-1. 速度(問題 1) vs. 重量(問題 2)
 - 悪化特性：1. 移動物体の重量
 - 改善特性：9. 速度
 - 該当発明原理(例)
 - 2. 取り出し：必要時のみ装着するパーツを外部化する
 - 28. 置換：鋼材→アルミ／カーボン置換で軽量化
 - 13. 逆方向利用：重量を増やすが、衝撃はバンパー等で吸収
 - 38. 強力なエネルギー：短時間(競技中)のみ大出力モーターで高速化
 - 3-2. 高所収穫(問題 3) vs. 重量/サイズ(問題 2)
 - 悪化特性：1. 移動物体の重量
 - 改善特性：8. 移動物体の長さ
 - 該当発明原理(例)
28. 分割：アーム基部と先端スライドを分け、後付け／折り畳み可

- 15. 動的特性：必要時のみアーム長を伸ばし、普段は収納
- 28. 置換：アームをカーボンパイプで剛性を保ちつつ軽量化

- 3-3. 角材ゾーン(問題4)・ロープゾーン(問題5) vs. 車体形状

角材突破には大径ホイールや地上高確保
ロープ突破では「潜る」アプローチが絡みリスクを軽減

- ただし上部高さを抑え、滑らか構造でロープが引っかかるないようにする

- 3-4. 安全(問題6)、メンテ(問題7)、時間(問題8)

安全：バンパー(EVA)・非常停止スイッチ(対角2か所)
メンテ：スナップ式バッテリー、モジュールフレーム
時間短縮：シンプル走行機構+後付けパーツで組み替え時間を最低限に

4. 問題解決の結論

高速化 + 軽量化

「取り出し」(2)：先端アームなどは後付けし、本体走行時は軽量
「置換」(28)：鋼材→アルミ/カーボン化
速度2.5 m/sを狙いつつ総重量28 kg前後に収める

アーム後付けで高所収穫

- 「分割」(1)、動的特性(15) → アーム基部(上下+回転)だけ初期搭載し、先端伸縮(300 mm)は1周目後にピン留めで装着
- リーチ2100 mmでS字フックを外す

角材ゾーン

- 大径タイヤ(150 mm) + 地上高50 mmで70~100 mm角材を乗り越える
- サスペンションを過度に追加せず、重量増を防ぐ

ロープは潜る方針

- 車体上部を600 mm以下に抑え、ロープが当たっても滑るように滑らかなカバー or ネットテント構造
- 前縁にローラーやフラップを付け、絡みリスクをより低減

衝突安全・メンテ時間

- バンパー(EVA 10 mm)、非常停止スイッチ(対角2か所)
- スナップ式バッテリー固定・アルミフレームモジュール構造でリトライ時も作業短縮

5. 全体の設計の構想

5-1. ロープを「潜る」方針

概要：ロープの高さ(100~600 mm)を下からくぐる設計を取る。車体上部高さを600 mm以下に抑え、ロープが当たっても滑り上るように上面を滑らか or ネットテント構造にする。

メリット：

1. ロープをまたぐ場合に比べ、絡み・巻き込みのリスクが低い
2. 車体上部が低背+曲面であれば、ロープが引っかかるトラブルを大幅に減らせる
3. 走行制御がシンプル(大きく車体を持ち上げたり、余分なサスペンションが不要)

デメリット：

4. 車体上部にアームやパーツを積む際、600 mm以下に収納する必要があり設計制約が増える
5. 前縁部にローラーやフラップを付けたり、ネットの張り方を工夫しないと、ロープが僅かな突起に絡む恐れ

6. ネットテント構造の場合、内部空間が狭くなり、アーム可動と干渉しやすい → 開口部や折り畳み部を要検討

5-2. ワイヤー・ネットテント構造と中央アーム可動域

1. 左右ネット+中央開口：車体の左右上面にネットを湾曲させて張り、中央線上にアームが倒れ込む形で高さを抑える。
2. 収穫時はネットをファスナー等で部分開放し、アームを自由に動かすスペースを確保。
3. 前縁部対策：ロープが前面に当たった際、ローラーや弾性フラップで絡みを回避。ネットテント前縁を滑らかな曲面フレームにし、ロープがスライドしやすいようにする。
4. フルーツ運搬：ネット内に小ポケットを設置して、収穫後のボールを高速走行中も飛び出さないよう保持。もしくは中央部にカゴを配置し、ネットテントは衝突やロープ干渉からカゴを守る。

6. フロー：一周目 → アーム取付 → 二周目 → 収穫運動 → フルーツ保管運搬

6-1. 一周目

- アーム先端を未装着 or 畏んで、車体上部 600 mm 以下。
- 角材ゾーン：大径ホイール(150 mm) + 地上高 50 mm で乗り越え。
- ロープゾーン：上面ネット・カバーで潜る。前縁ローラーなどで絡み防止。直線速度 2.5 m/s、カーブ 1.2 m/s。

6-2. スタートゾーンでアーム取付

- 1周目終了後、伸縮アーム先端(300 mm)をピン留め（工具不要）で装着（取り出し(2)の発想）。
- 車体重量+1~1.5 kg 程度で合計 28 kg 前後を想定。

6-3. 二周目（フルーツ収穫ゾーンでの挙動）

- アーム基部を起こし、1800 mm + 300 mm = 2100 mm リーチで S 字フックからボールを外す。
- ネットテントは中央開口 or 側面ファスナーを開き、アームと干渉しないようにする。
- フルーツをカップ or クランプで保持し、ネット内ポケットや車体カゴへ収納。

6-4. フルーツ保管・運搬

- 高速走行で振動しても飛び出さないよう、ネットの目を小さく or カゴにフタをかぶせる。
- 最終的にスタートゾーンへ戻り、フルーツを指定場所に置くなどルールに沿って終了。

7. 提案する仕様

7-1. 走行部

- タイヤ径：150 mm (樹脂ホイール)
- 地上高：50 mm
- 目標速度：2.5 m/s (直線)、1.2 m/s (カーブ)
- 重量：フレーム+駆動 ≈25 kg + バンパー/アーム先端/ネット等 → 総計 28 kg

7-2. アーム・収穫機構

- 基部：上下 1 軸 + 回転 1 軸 (約 3 kg)
- 先端：伸縮 300 mm (1~1.5 kg) → 1周目後に後付けピン留め
- S字フック対応：カップ or クランプでネット(フルーツ)を軽く揺らし、外す

7-3. ロープ潜り

- 車体上部：600 mm 以下 + ネットテント構造 or 滑らかカバー
 - ロープが当たると曲面を滑り上がるようにして、絡みを回避
- 前縁ローラー or フラップ：絡み防止をさらに強化

- 中央アーム：折りたたんだ状態で高さを抑え、収穫時の開口展開

7-4. 角材ゾーン

- 大径ホイール + 地上高 50 mm → 70~100 mm 角材を乗り越え
- サスペンションの過度な導入を省き、重量増を回避

7-5. フルーツ保管・運搬

- ネットテント内ポケット、または中央カゴ
- 振動で飛び出さないよう、ネット目を小さく or カゴにフタを用意
- ネット上部にファスナー等で開閉できる仕組み

7-6. 安全・メンテ

- 非常停止スイッチ：対角 2か所（高さ 1000~1200 mm）
- バンパー：EVA スポンジ 10 mm 厚（約 1.5 kg）
- スナップ式バッテリー：交換 30 秒以内
- アルミフレーム（30×30 mm）：モジュール構造で故障ユニット交換

結び

ロープを潜る方針とすることで、絡みリスクを減らし、走行制御を単純化できる一方で、車体上部の設計（高さ 600 mm 以下）や前縁対策（ローラー/フラップ）が必要となります。

- メリット：上部装備の巻き込み・絡みが少なく、ロープゾーン通過時の安定度が高い。
- デメリット：アームの大きさ・後付けパーツなど、車体高さに制約が生まれる。前縁形状にも細かな工夫が要る。

こうしたトレードオフを TRIZ の「取り出し」「分割」「置換」「逆方向利用」などの発明原理で補い、高速走行（2.5 m/s）・高所収穫（2100 mm リーチ）・軽量化（28 kg）・**安全性（バンパー、非常停止）**を両立する総合的なロボット設計を提案するものです。



付録図1. 文章をChatGPT-4oに読み込ませて生成されたロボットのイメージ