様式７号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式７号）(Format No.7) 英語版

学 位 論 文 要 旨
(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	Strategic Innovation in Taekwondo: A Systematic Framework for Business Idea and Design Concept Generation Using Patent-Based Knowledge and Generative AI (テコンドーにおける戦略的イノベーション：特許情報と生成 AI を活用した事業アイデアおよびデザインコンセプト創出フレームワークの構築)
氏　名(Name)	AIZA SYAMIMI BINTI ABD RANI

The thesis comprises 6 chapters:

Chapter 1: This chapter introduces the research by contextualizing it within the evolving global and Malaysian sports industry, emphasizing the increasing role of technologies such as Artificial intelligence (AI) and wearable systems, specifically post COVID-19 pandemic. Nevertheless, non-profit sports organizations (NPOs) such as TKD, often face limited financial and resources, therefore transitioning into social enterprises (SEs) to sustain operations by integrating commercial strategies while maintaining their social mission. Accordingly, this study selected TKD as a case study due to its popularity, technological innovations and strong social significance. This study proposes a strategic framework for generating ideas and novel design concepts for future TKD systems, using patent and non-patent analysis, novelty potential and patent-based design catalogue.

Chapter 2: This chapter reviews previous studies relevant to the research topic obtained from various sources such as books, journals, peer-reviewed articles, and conference papers. This study expands on various streams, particularly those focused on (i) Martial arts (Taekwondo), technological innovations and issues and challenges, (ii) Idea generation and design concepts creation, including theoretical foundations, novelty potential/void matrix, patent-based design catalogue, large language models (LLMs) and generative AI (Gen AI) and finally (iii) Research approach.

Chapter 3: This chapter outlines the research methodology, utilizing patent and non-patent sources. Initial investigation on patent and non-patent information is conducted to identify technological trends and key knowledge domains analyzed using Cooperative Patent Classification (CPC) codes and co-occurrence network analysis. Second approach conducted case studies to generate and validate novel design concepts; Case study 1: Novelty potential(word2vec). Novelty potential was introduced to determine the potential of the two function concepts, the combination of which would lead to novel concepts based on their corresponding patent abstracts. It assumes that the more different the two chosen concepts are, the more novel the subsequent combination would be. The combination is

calculated using Word2vec compared to more advanced model such as Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) as this study prioritized measuring semantic relationships and conceptual distances between abstract concepts from patents data rather than contextual sentence interpretation.

Case study 2 (core methodology): patent-based design catalogue approach, integrating three ideation approaches: the novelty potential/void matrix, a patent-based design catalogue, and generative AI (e.g., ChatGPT). Generative AI is employed as a supporting tool for concept refinement and benchmarking to validate our proposed approach. Additionally, semi-structured interviews with industry stakeholders are conducted to provide empirical validation and practical insights.

Chapter 4: This chapter presents all the research findings and analysis derived from the data collection.

1)Patent and non-patent investigation:

The results from patent and non-patent trends revealed emerging technologies and potential combinations for innovation for TKD SEs. For instance, based on the co-occurrence analysis results, new CPC codes combinations are recommended such as (H04L chaining) and A63B (sports equipment). It also reveals high centrality keywords from non-patent abstracts, such as the words “IoT”, “secure” and “smart contract” with “supply chain.”

2) Application and validation;
a) Case study 1: Novelty potential (word2vec)
A dendrogram was drawn using the distance information between the concepts found in the abstracts. The horizontal axis represents the number of sentences, and the vertical axis represents the distance between concepts obtained by measuring the cosine distance. Regarding the thresholds involved in the classification of 16 abstract concepts, 0.85 was determined as the threshold after several rounds of trial and error. Next, two matrices were created, novelty potential and void. The novelty potential matrix measured the distance of cosine similarity. The higher the number, the further the distance; therefore, the higher the novelty potential. Meanwhile, the void matrix showed the count of patent numbers between the groups. Void indicates no similar patents; therefore, the combination of groups with the most voids can be new. Using the equation,

$$\eta = \frac{Void}{Novelty\ Potential}$$

a new matrix was created. While novelty potential measures novelty through semantic distance, the η value incorporates the “void” aspect, representing areas with limited existing patent saturation. Therefore, it helps to identify combinations with high novelty and technologically underexplored concepts, increasing the possibility of first-mover advantage and future innovation opportunities. Two groups are selected from the novelty potential/void matrix (AI and video content), and (IoT and solar

cells). Verification using patent investigation shows an upward trend, indicating that AI in digital media and content platforms is increasingly integrated into businesses. Similarly, the growing adoption of solar cell technologies and IoT devices reflects increasing awareness of sustainability and energy-efficient solutions. These combinations may be new ideas for TKD SEs.

b) Case study 2: Patent-based design catalogue with GenAI
Concepts with high novelty potential and minimal technological saturation (void) are identified through patent abstracts analysis before generating novel conceptual combinations with ChatGPT. Based on the comparative evaluation data, the proposed ideation approach yields concepts with superior originality and no overlap with Large language models (LLM)-generated ideas, suggesting a more substantial potential for first-mover advantage than ideas generated solely through LLM models. Although the differences were not statistically significant, the trend still suggests that the proposed method may offer higher novelty compared to LLM-generated ideas. A detailed assessment of relevant CPC codes is also conducted to validate the novelty of the proposed concepts. The results confirm the absence of analogous patents, underscoring the uniqueness of the identified combinations for TKD SEs.

c) Semi-structured interviews: The semi-structured interview results provides practical insights and validation from stakeholders on challenges and feedback from design catalogue. We compared large enterprises (LEs) and small and medium enterprises (SMEs) business model, challenges and analyzed using Porter’s 5 analysis and gain insights from blockchain organization on potential blockchain technology to enhance security, transparency, and data reliability through immutable and time-stamped records. Finally, the findings from Malaysian TKD clubs and the federation are obtained related to innovation importance and challenges, and feedback of the design catalogue challenges, usability, recommendations and future hopes.

Chapter 5: This chapter synthesizes all the results to develop recommendations for strengthening business model innovation and design concepts for TKD SEs based on the novelty potential (word2vec), including an advanced video content platform using AI, Blockchain & IoT devices. The patent-based design catalogue further discussed on the independent expert scoring and proposed a new design concept; a smart scoring system enhanced by an emotion-responsive platform.

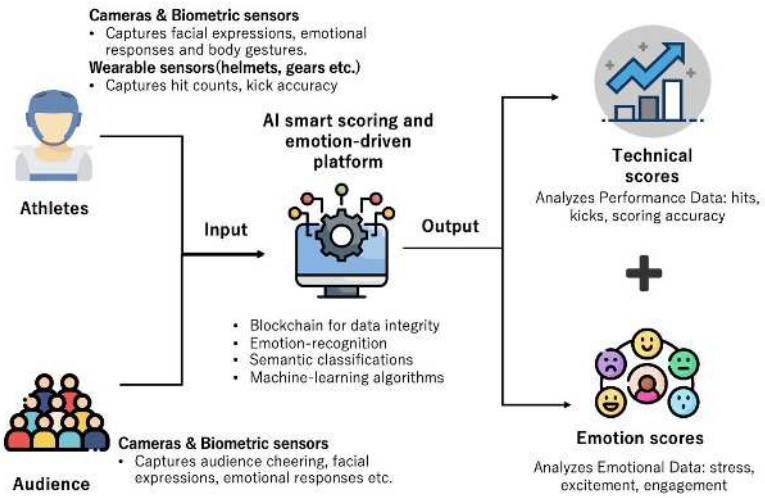


Figure 1. The smart scoring system and emotion-driven platform framework for TKD SEs

Chapter 6: This chapter concludes all the chapters in the study by synthesizing the key findings and reaffirming the academic and practical contributions. It also addresses the study limitations, including limited generalizability as it only focusing on single case study, TKD, potential biases may occur from patent data and small sample from interviews. Several future recommendations are proposed to strengthen the generalizability, robustness and practical applicability of the proposed framework, including expanding the case study to include different sports, including lower-growth martial arts such as Judo and Karate, other sectors and technologies and conducting international interviews with TKD practitioners.

様式７号（第 12 条，第 31 条関係）
（様式７号）(Format No.7)　日本語版

学　位　論　文　要　旨
(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	Strategic Innovation in Taekwondo: A Systematic Framework for Business Idea and Design Concept Generation Using Patent-Based Knowledge and Generative AI (テコンドーにおける戦略的イノベーション:特許情報と生成 AI を活用した事業アイデアおよびデザインコンセプト創出フレームワークの構築)
氏　名(Name)	AIZA SYAMIMI BINTI ABD RANI

本論文は全６章で構成される。

第１章　序論

本章では、研究の背景、目的および意義について述べる。近年、世界およびマレーシアのスポーツ産業では、特に COVID-19 パンデミック以降、人工知能（AI）やウェアラブルシステムをはじめとする先端技術の活用が急速に進展している。一方、テコンドー（TKD）をはじめとする非営利スポーツ組織（Non-Profit Organizations: NPOs）は、財政的・人的資源の制約という課題に直面しており、社会的使命を維持しながら持続可能な運営を実現するため、社会的企業（Social Enterprises: SEs）への転換が求められている。本研究では、競技人口の多さ、技術革新の可能性、および社会的意義を有するテコンドーを対象事例として選定し、特許情報および非特許情報の分析、新規性ポテンシャル分析ならびに特許ベース設計カタログを統合した、新たな設計コンセプト創出のための戦略的フレームワークを提案する。

第２章　関連研究

本章では、本研究に関連する先行研究を整理する。対象とした文献は、学術書、学術雑誌、査読論文および国際会議論文である。レビューの対象は、(1) テコンドーにおける技術革新とその課題、(2) アイデア創出および設計コンセプト生成に関する理論、新規性ポテンシャル／ボイドマトリクス、特許ベース設計カタログ、大規模言語モデル（LLMs）および生成 AI（Generative AI）、さらに (3) 本研究で採用する研究アプローチである。

第３章　研究方法

本章では、特許情報および非特許情報を活用した研究方法について説明する。まず、特許および非特許情報の分析を通じて技術動向と知識領域を把握し、協調特許分類（Cooperative Patent Classification: CPC コード分析および共起ネットワーク分析を実施した。続いて、２つのケーススタディを実施し、新規設計コンセプトの生成と検証を行った。

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)
(about 800 words)

ケーススタディ１：新規性ポテンシャル（Word2Vec）

本研究では、新規性ポテンシャルを導入し、2 つの機能概念の組み合わせがどの程度新規な概念を生み出す可能性を有するかを、対応する特許要約に基づいて評価した。選択された概念間の意味的距離が大きいほど、新たに生成される組み合わせの新規性が高いと仮定した。概念間の類似度は Word2Vec によって算出した。本研究では、文脈理解を目的とする Bidirectional Encoder Representations from Transformers（BERT）よりも、特許データに含まれる抽象概念間の意味的関係および概念距離の測定を重視したため、Word2Vec を採用した。

ケーススタディ２（本研究の中核手法）：特許ベース設計カタログ

本研究では、新規性ポテンシャル／ボイドマトリクス、特許ベース設計カタログ、および生成 AI（ChatGPT など）の３つのアイデア創出手法を統合した。生成 AI は、提案手法によって得られた設計コンセプトの洗練および比較検証を支援する補助ツールとして利用した。また、産業界の関係者を対象とした半構造化インタビューを実施し、提案手法の実証的妥当性および実務的有用性を検証した。

第４章　研究結果

(1) 特許・非特許情報分析

特許および非特許情報の分析結果から、TKD 社会的企業における新たな技術動向および技術融合の可能性が明らかとなった。例えば、共起分析の結果に基づき、H04L（通信ネットワーク）と A63B（スポーツ用品）の新たな CPC コードの組み合わせが有望であることが示された。また、非特許要約の分析では、「IoT」、「secure」、「smart contract」、「supply chain」などが中心性の高いキーワードとして抽出された。

(2) 応用および検証

a) ケーススタディ１：新規性ポテンシャル（Word2Vec）

特許要約から抽出した概念間の距離情報を基にデンドログラムを作成した。横軸は文章数、縦軸はコサイン距離による概念間距離を示している。16 の概念分類について複数回の試行錯誤を行った結果、閾値を 0.85 に設定した。

その後、新規性ポテンシャルマトリクスとボイドマトリクスを構築した。新規性ポテンシャルマトリクスでは、コサイン類似度に基づく意味的距離を測定し、値が大きいほど新規性が高いことを示す。一方、ボイドマトリクスはグループ間に存在する関連特許件数を表し、「Void」は類似特許が存在しない領域を意味する。したがって、Void が多い組み合わせほど新規性が期待される。

さらに、

$$\eta = \frac{Void}{Novelty\ Potential}$$

により η 値を算出した。新規性ポテンシャルが意味的距離を表すのに対し、η 値は既存特許が少ない技術空白領域（Void）を考慮した指標である。そのため、高い新規性と未開拓技術領域を同時に評価でき、先行者利益や将来的な技術革新の可能性をより適切に把握できる。

分析の結果、「AI と動画コンテンツ」および「IoT と太陽電池」の 2 つの組み合わせが有望な候補として抽出された。特許動向分析による検証では、AI を活用したデジタルメディア・コンテンツプラットフォームや、太陽電池技術と IoT デバイスの活用が近年急速に増加していることが確認された。これらは TKD 社会的企業における新たな事業アイデアとなる可能性を有している。

b）ケーススタディ 2：生成 AI を統合した特許ベース設計カタログ

特許要約分析により、新規性が高く、かつ技術的飽和度（Void）が低い概念を抽出した後、ChatGPT を用いて新たな設計コンセプトを生成した。

比較評価の結果、提案手法によって生成されたコンセプトは、大規模言語モデル（LLM）のみから生成されたアイデアとは重複せず、独創性において優れ、先行者利益を獲得できる可能性が高いことが示唆された。統計的有意差は認められなかったものの、提案手法の方が LLM 単独よりも高い新規性を有する傾向が確認された。また、関連する CPC コードを詳細に調査した結果、類似する特許は存在せず、提案コンセプトの独自性が裏付けられた。

c）半構造化インタビュー

半構造化インタビューでは、設計カタログに対する評価や実務上の課題について、産業界の関係者から実践的な知見を得た。大企業（LE）と中小企業（SME）のビジネスモデルおよび課題を比較し、Porter のファイブフォース分析を用いて検討した。また、ブロックチェーン関連組織への調査を通じて、不変かつタイムスタンプ付き記録によるセキュリティ、透明性、およびデータ信頼性向上の可能性を明らかにした。さらに、マレーシア国内のテコンドークラブおよび競技連盟への調査を通じて、技術革新の重要性や現場が抱える課題、設計カタログの有用性、改善提案、および将来への期待について意見を収集した。

第 5 章：考察および提案

本章では、第 4 章で得られた研究成果を統合し、TKD 社会的企業におけるビジネスモデル革新および設計コンセプトについて考察した。新規性ポテンシャル（Word2Vec）の分析結果を基に、AI を活用した高度な動画コンテンツプラットフォーム、ブロックチェーン、および IoT デバイスを組み合わせた新たな設計コンセプトを提案した。また、特許ベース設計カタログによる専門家評価を踏まえ、「感情応答型プラットフォームを備えたスマート採点システム」という新たな設計コンセプトを提示した。

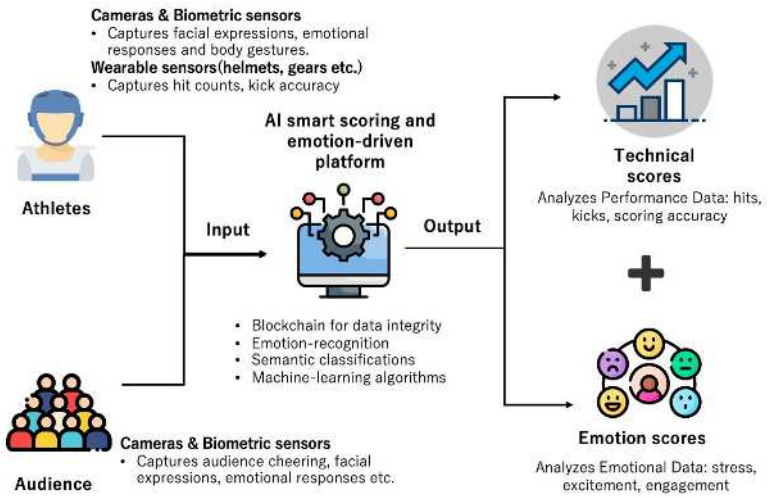


図 1　TKD 社会的企業（SEs）のためのスマート採点システムおよび感情駆動型プラットフォームのフレームワーク

第 6 章：結論

本章では、本研究全体を総括し、主要な研究成果を整理するとともに、学術的および実務的貢献を示した。また、本研究は単一事例（テコンドー）のみを対象としていること、特許データに起因する潜在的バイアス、およびインタビュー対象者数が限られていることなどの研究上の限界について議論した。さらに、提案フレームワークの一般化可能性、頑健性、および実用性を向上させるため、柔道や空手など成長率の低い他の武道競技を含む複数競技への適用、他産業・他技術分野への展開、ならびに海外のテコンドー関係者を対象とした国際的なインタビュー調査を今後の研究課題として提案した。

（様式9号）

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏　　名	Aiza Syamimi Binti Abd Rani
審査委員	主　　査：NGUYEN PHUC HUU
	副　　査：中村　秀明
	副　　査：浅田　裕法
	副　　査：野間口　大
	副　　査：間普　真吾
	副　　査：王　元元
	副　　査：岡本　和也
論文題目	Strategic Innovation in Taekwondo: A Systematic Framework for Business Idea and Design Concept Generation Using Patent-Based Knowledge and Generative AI (テコンドーにおける戦略的イノベーション：特許情報と生成 AI を活用した事業アイデアおよびデザインコンセプト創出フレームワークの構築)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

本研究はスポーツ産業における非営利組織の社会的企業化に着目し、テコンドーを事例として、事業アイデアおよびデザインコンセプトを体系的に創出する枠組みの構築を目的としている。従来のアイデア創出手法は、習熟に多くの経験を要するうえ、設計者の資質に依存するところが大きく適用する手法やその適用対象によって成果が左右されるため、着想の質を安定的に再現することが難しい。近年普及した大規模言語モデルもプロンプトの巧拙に左右され、モデル間で着想が類似する傾向を示すことから、それのみに依拠して新規性の高い概念を得ることは期待しがたい。

本研究の理論的中核をなすのは、二つの概念の意味的距離が大きいほど、その組合せから得られる着想の新規性が高いとする新規性ポテンシャル（Novelty Potential）理論である。意味的距離のみを尺度とした場合、既に特許化された組合せをも高く評価してしまうため、先行研究では当該組合せに関する既存特許の乏しさを表すボイド（Void）を併せ用いる選定指標が提案されている。申請者は、意味的な隔たりと技術的空白とを併せて捉えるこの枠組みに着目し、主として機械設計を対象としてきた同手法をスポーツ事業という異なる領域の課題に展開し、その適用範囲の拡張を試みている。

申請者は初めにテコンドーおよび近接する競技領域の特許ならびに非特許文献を共起ネットワークにより分析し、技術分類の重複が限定的であることから競技間の技術的収斂が進んでいない未開拓の領域を見出している。次いで、ブロックチェーンとスポーツに関する特

（様式9号）

許要旨を単語分散表現モデルにより概念化したうえで同指標を適用し、人工知能を用いた映像配信と、太陽電池を用いた IoT 機器という二つの有望な組合せを選定している。いずれについても、当該領域における特許出願の増加傾向によって妥当性を裏付けている。

さらに本研究では、大規模言語モデルにより特許文書から目的と手段の対を抽出し、設計知識を体系化するデザインカタログの手法を取り入れ、同一の選定指標を目的表現に適用している。異なる知識表現に対しても同じ原理が機能することを示した点は、当該手法の方法論としての一般性を示唆するものである。その結果、競技用防具の装着技術と観客行動の分析技術という、従来接点をもたなかった二領域の組合せから、機械学習と感情認識を統合した新たな採点システムの構想を導いている。

提案された設計概念は、専門家による盲検評価において複数の大規模言語モデルが生成した案と重複せず、新規性の面で高い評価を得ている。特許分類に基づく調査においても、同等の先行技術は見出されていない。加えて、マレーシアのテコンドー連盟およびクラブ関係者への半構造化インタビューにより、実務的有用性が確認されている。

以上のように本研究は、機械設計の領域で培われた新規性ポテンシャルに基づく概念選定手法を、スポーツ事業という新たな領域に展開し、大規模言語モデルによる設計知識の体系化と結び付けて、その有効性を実証的に示した点に意義がある。

本審査会では、予備審査会において指摘された分析手法の選択根拠、評価結果の解釈および提案枠組みの一般化可能性に関する事項について、明確な回答があった。

公聴会における主な質問内容は、提案手法における概念の選定基準に関するもの、対象領域の技術動向の解釈などに関するものであった。いずれの質問に対しても発表者から的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（学術）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文　計5編、参考論文　計0編）

(a) 査読のある雑誌等

1) 橘 智也、正田 浩暉、Aiza Syamimi Binti Abd Rani、野間口 大、岡本 和也、藤田 喜久雄：新規性ポテンシャルと単語分散表現モデルに基づく特許情報からの設計概念生成、日本機械学会論文集、Vol.88, No.905, 21-00222, 2022.

2) Aiza Syamimi, Tomoya Tachibana, Yutaka Nomaguchi, Kikuo Fujita, and Kazuya Okamoto, Generating business ideas in Taekwondo using the Novelty Potential Concept, Asian Sport Management Review (ASMR), Vol.16, pp.28-44, 2022.

3) Aiza Syamimi, Kei Kuroishi, Yutaka Nomaguchi, Kikuo Fujita and Kazuya Okamoto, Enhanced Systematic Idea Generation Methodologies using Generative AI - A Case Study on Taekwondo Systems, International Journal of Japan Association for Management Systems (IJAMS), Vol.17, No.2, pp.13-25, 2025.

(b) 査読のある国際会議の会議録等

1) 黒石 憩、Aiza Syamimi Binti Abd Rani、田中 大智、野間口 大、岡本 和也、藤田 喜

（様式９号）

久雄：大規模言語モデルによる特許文書からのデザインカタログ作成手法に関する研究、日本機械学会第 34 回設計工学・システム部門講演会講演論文集、Paper No. 2304, 2024.
2) Yutaka Nomaguchi, Kei Kuroishi, Aiza Syamimi, Daichi Tanaka, Kazuya Okamoto and Kikuo Fujita, Creating design catalog from patent documents with large language model for design concept generation, Proceedings of 25th International Conference on Engineering Design (ICED25), Vol.5, pp.1051-1060, 2025.。