

Vol.27 No.3
MAY 2024(213-272)

エレクトロニクス 実装学会誌 **JIEP**

Journal of The Japan Institute of Electronics Packaging

特集

インテリジェント実装技術における
AI の最新動向

<https://jiep.or.jp>

一般社団法人エレクトロニクス実装学会

プリント基板アートワーク設計における部品配置とパターン配線の自動化

北條 武^{1*}

Automation of Component Placement and Pattern Routing in Printed Circuit Board Artwork Design

Takeshi HOJO^{1*}¹ トプロテクノサービス株式会社（〒146-0085 東京都大田区久が原2-12-5 3F）¹ TOPRO TECHNO SERVICE (3F, 2-12-5 Kugahara, Ota-ku, Tokyo 146-0085)

1. アートワーク設計について

プリント基板の設計・製造において、アートワーク設計とは図1「プリント基板ができるまで」の工程でいう前工程の回路設計（回路と部品の情報）と機構設計（外形）か

ら支給されたものを元に製品仕様や回路仕様および後工程からの製造仕様に乗っ取り、基板製造用データをCADで設計する業務である。

図2「アートワーク設計の作業工程」におけるメイン業務は、部品配置とパターン配線である。部品配置の良し悪

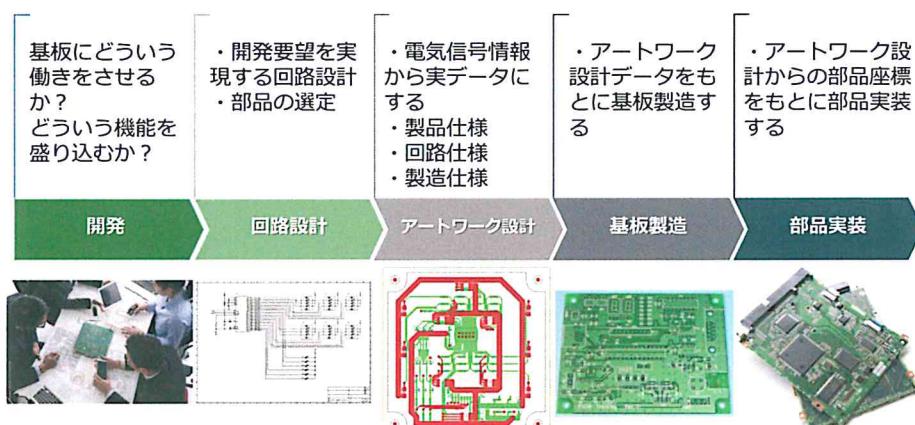


図1. プリント基板ができるまで

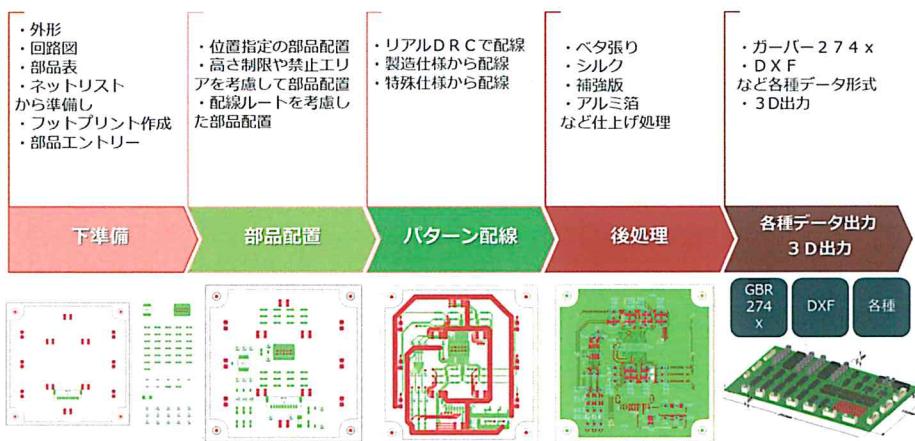


図2. アートワーク設計の作業工程

*: Corresponding author
E-mail: info@ai-pcb.com

しで、7割程度の設計品質が決まるといつても過言ではなく、ベテラン設計者は全体バランスと配線ルートをイメージして部品配置レイアウトをしている。

アートワーク設計のメイン業務である部品配置とパターン配線を自動設計（図3「自動設計している工程」AI_PCBアプリによる自動設計）している。まずCADデータを自動読み込み、外形／部品／ネットリストを認識し、部品をグループ分け（電源系、入力系、出力系など。個別設定も可）し、RL[†]による外形内の配置スペースに対してグループごとで回転しながらラッソ捻じれなどを考慮し配置検討させ、全ての部品グループのバランスが整ったら配置される。さらに模倣学習による微調整（模範データとの差分から調整）され、その後に自動配線（部品グループごとのバス配線と単独配線）する。今後さらに“配線しながら部品

移動させる機能”を開発検討中であり、これが可能になると新規設計のみならず設計変更での応用が可能になる。

AI自動設計プラットフォーム「ai-pcb」（プラットフォーム名称：ai-pcb、自動設計アプリ名称：AI_PCB）による自動設計の仕組みについて（図4「AI_PCBによる自動設計フロー」）

まずユーザは、新規マイページを開設し、必要項目を入力して設計依頼用データ（専用CADフォーマットによる「外形／部品／ネットリスト」が入力されたデータ）をアップロードして、AI_PCBによる自動設計がスタートする。そして設計終了するとプレビュー画像（部品配置結果とパターン配線結果のJPG）を確認のうえ最終データ（専用CADフォーマット）をダウンロードする仕組み。

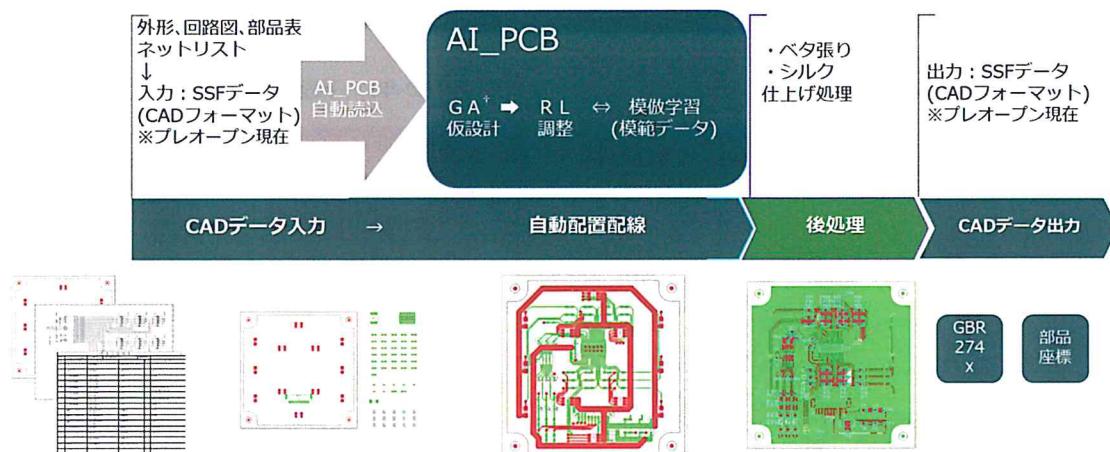


図3. 自動設計している工程

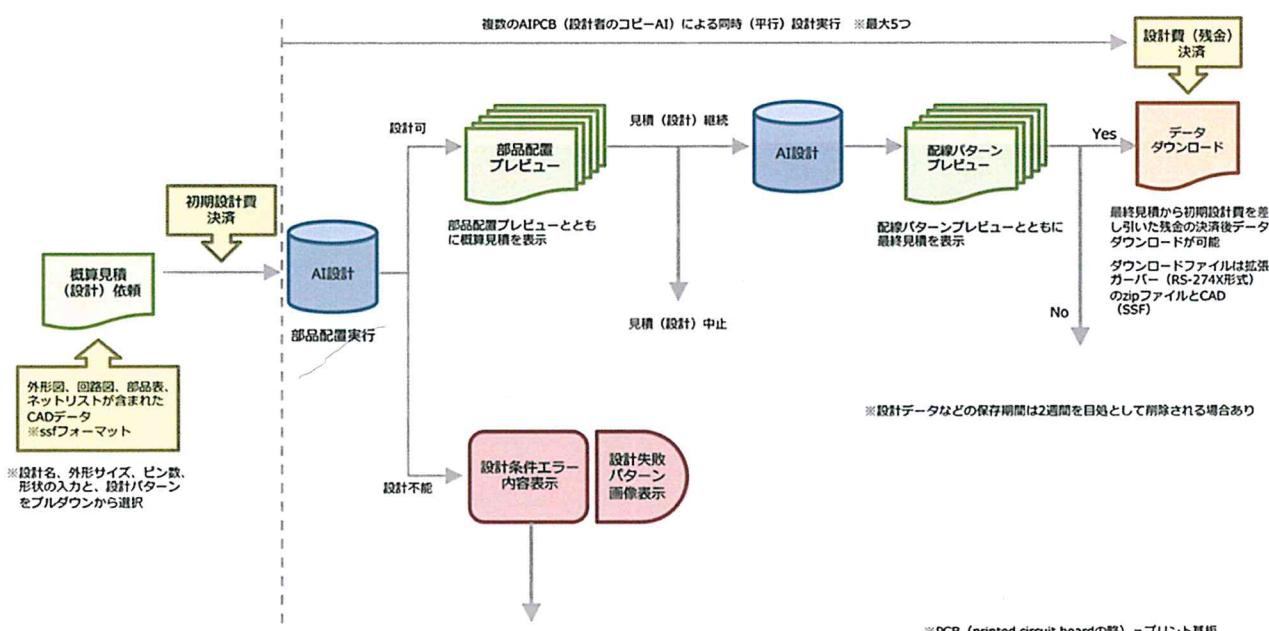


図4. AI_PCBによる自動設計フロー

2. アートワーク設計の設計品質について

自動設計をする上で最も重要なことは設計品質である。これが出来ていないとどれだけ設計時間が短縮できようが並列処理できようが意味をなさない。設計品質なくしてユーザ（設計依頼者）は満足しない。

ここでいう設計品質とは「デザインルールに基づいた設計（配線ショートやランド重複など無きこと）」「回路の流れが考慮された設計（回路図にある入力系・出力系の流れに沿った部品の繋がりが再現されていること）」「後工程（基板製造、部品実装）の製造仕様が考慮された設計」という基礎的なものから、「ある程度の電気特性を理解した設計（熱やノイズを意識した設計）」「無駄のないビア配置や配線ルートによる設計（単純に配線長を短くするのではなく、全体バランスを考慮する）」をどう考えて設計するかなど、多種多様な設計品質とセンスが求められる。さらに、ユー

ザごとで求める設計品質が異なる場合もある。一概に「～すればよい」ではなくケースバイケースで考え方が異なったり複雑になり一辺倒でもなく、新しい仕様がドンドン追加されるため、大手企業様の仕様書は百科事典が何冊にもなるくらいである。

ベテランのアートワーク設計者は、これらの仕様を頭に入れ、限られた設計スペースにおけるデザインセンスも求められ、全体バランスをイメージしながら部品配置レイアウトや配線ルートを考えて設計している（図5）。

◇現状の品質①：AIが部品配置から自動配線まで全て実施した結果（図6）

2023年1月にプレオープンしたAI_PCBによる設計結果（図6：左）とベテラン設計者による設計結果（図6：右）の比較。

この結果から得られたもの：一気通貫で部品配置～配線まで全てをAIに任せるには品質面で厳しい課題がある。

【3名が同じ設計をした結果、上段A氏（歴3年）、中段B氏（歴30年）、下段C氏（歴15年）】

同じ回路でも設計者で仕上がりは異なる。

お客様の評価
「B>C>A」

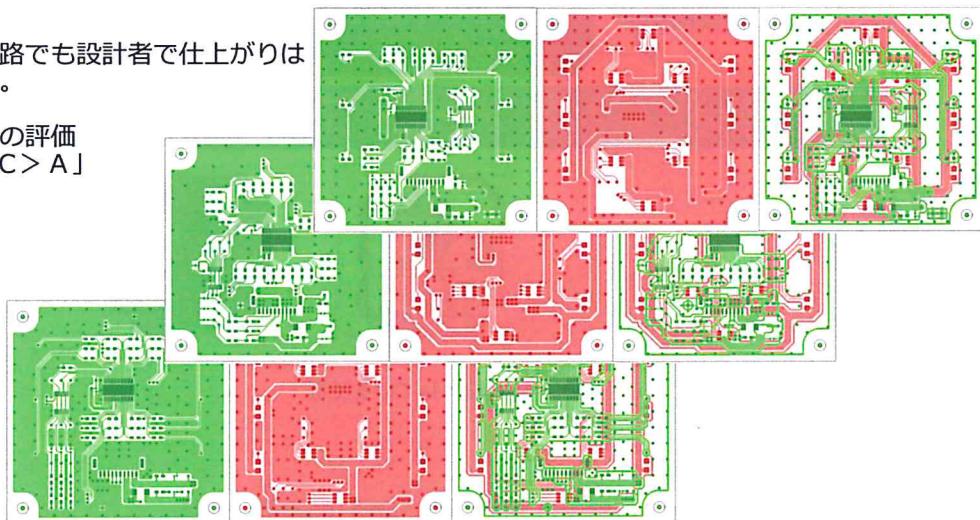


図5. 3名が同じ設計をした結果

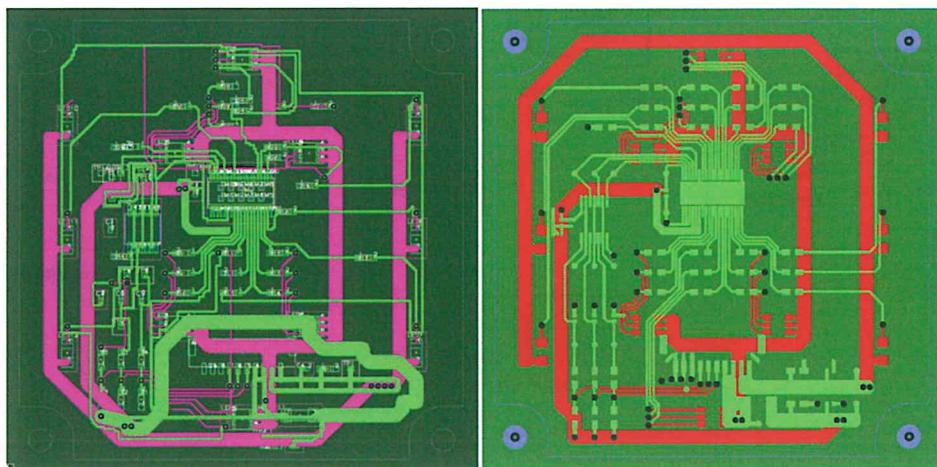


図6. 現状のAI_PCBによる部品配置～パターン配線までの設計結果とベテラン設計者による設計結果

◇現状の品質②：（設計者が部品配置した状態）から AI が自動配線したもの（図 7）

この結果から得られたもの：部品配置されていれば、手直しは必要だが使えるレベルの配線結果である。ただし、汎用型にするには膨大な配線アルゴリズムを覚えこませる必要があります、且つケースバイケースの設計仕様への対応は困難である。

考察：その都度のパターン配線において評価（配線 ⇄ 評価の繰り返し）をしているため、細かい箇所で比較すると設計結果は異なる。これは設計者の結果と同等で、あるルールに基づいて設計しているので、パターン配線 1 本 1 本が寸分たがわず同じ答えになるわけではない。もちろん、より詳細な配線アルゴリズム + 模倣学習をさせることでコピーに近い配線結果にはなる。

◇現在開発している品質向上への取り組み：これまでの結果から、AI エンジンそのものを乗せ換え、途中経過で設

計者チェックおよび修正できるようにする。その修正内容を画像比較による差分学習をさせ設計者の特徴量として AI を育成していく「AI_PCB 自動生成シミュレータ」を開発（2024 年度中）し、設計者が当プラットフォーム上で自身の設計技術を個々の AI_PCB として育成する（図 8）。育成イメージは、ベテラン設計者が新人設計者に教えていくように、まずわれわれの AI_PCB に設計させた結果に、専用 CAD エディターで自身が求める設計画像に変更し、その差分学習を RLHF（深層強化学習ヒューマンフィードバック）により自身の求める AI_PCB として自動生成する。一度で差分学習からの特徴量抽出がうまくいかないので自動生成された AI_PCB による設計結果に、また専用 CAD エディターで調整し、差分学習～の流れを繰り返すことで、自身の AI_PCB の育成を高めていく。（人間の場合は 1 日 8 h だが AI の場合は 1 日 24 h で稼働できる）。

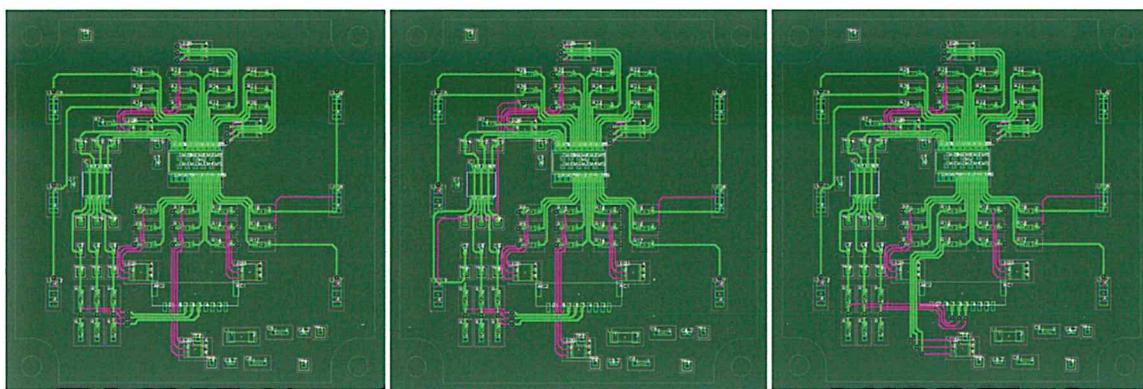
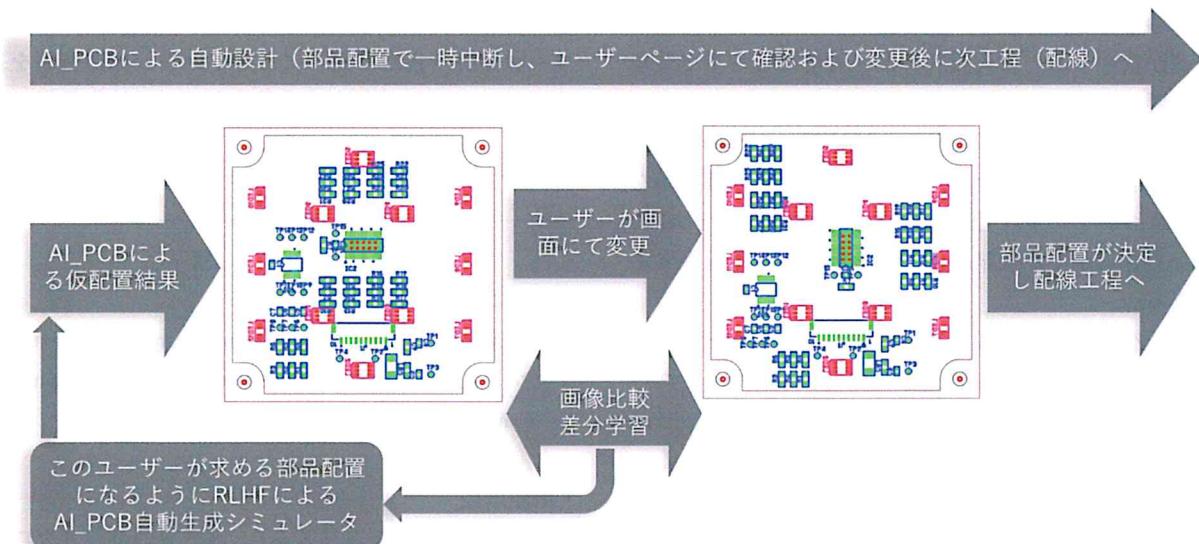


図 7. 設計者が部品配置した状態から AI がパターン配線した設計結果 3 種



※当 AI 自動設計プラットフォームにおけるユーザとは「設計依頼者」と「自分の AI_PCB をつくる設計者」になる。

※「自分の AI_PCB をつくる設計者」が自身の設計用途以外に、当プラットフォーム上で利用許可した場合、その AI_PCB が他の「設計依頼者」からの設計をした場合、売上の一部を利益として還元する。

図 8. AI_PCB 自動生成ツールの仕組み（設計者が自分が求める設計結果になるよう AI_PCB を育成）

基板種別での設計依頼に対して、多種多様のAI_PCBをカテゴリー分けしておき、複数（最大5種）のAI_PCBをマッチングさせて自動設計することで、設計ニーズに近い設計結果を提示します。回数を重ねるごとで、AI_PCBも学習して種類を増やしていくことで、より設計ニーズに近い設計結果を導きます。

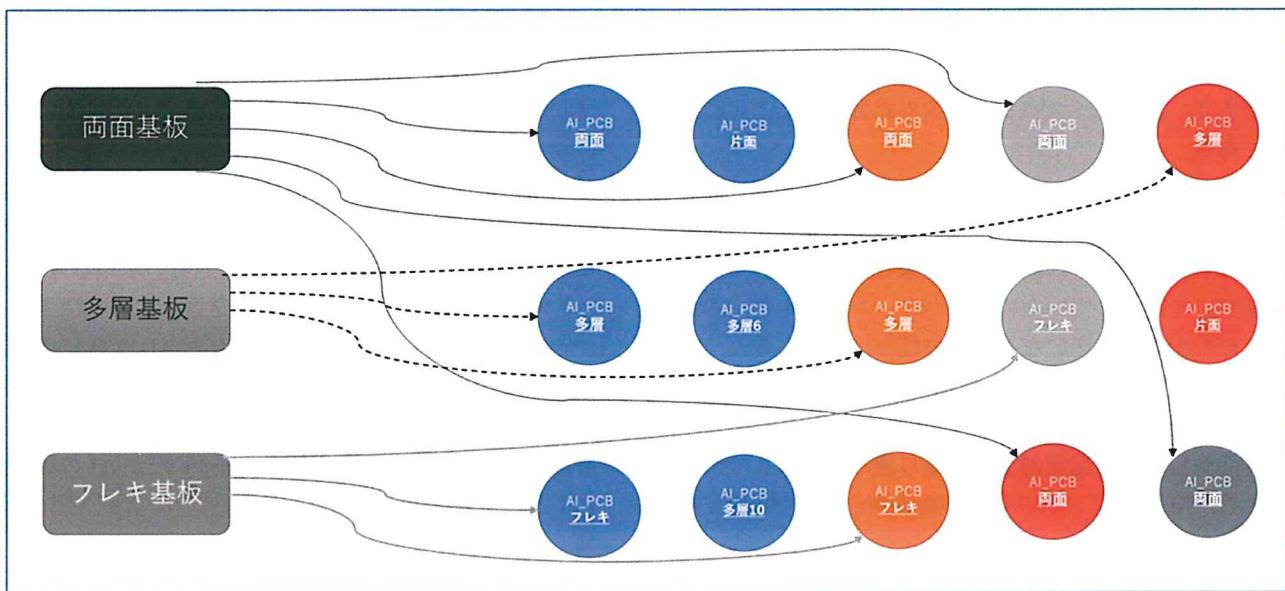


図9. 基板種類に対応するAI_PCBがマッチングされる（※2025年～2026年の搭載予定）

なお、図8のようなデータ修正は最初は何度も実施することになるが、徐々に求める結果になってくると修正回数は減ってくる（新人設計者が徐々に設計技術を覚えていくイメージ）。

3. AI自動設計の開発テーマとAI化（AI_PCBマッチング）の仕組みについて

当AI自動設計の開発テーマは「設計者を助けたい！」である。前述した設計品質を担保するためベテラン設計者は、あらゆることに対処し、ほぼ全て手入力による作業のため負荷が集中する。新人設計者が一人前になるまで数年の経験を要し、ベテランと言われる域に達するには10～15年超が必要となる。デザインセンスには個々の性格や価値観も大いに影響してくるため、技術承継は単純にはいかない。いかにベテラン設計者の技術をAI化できるか？AIに技術承継できるか？が永年継続できる設計品質を担保するカギとなる。

さらに、ベテラン設計者の設計品質が、あらゆるユーザ（設計依頼者）に常に100%満足されるわけではなく、ユーザA社が満足する設計品質とユーザB社が満足する設計品質に違いがあったりする、答えは1つではないのである。

そして、基板種類（リジット基板、フレキシブル基板、パッケージ設計など）によっても仕様が異なるため経験値によってベテラン設計者でも得手不得手がある。

そのため、なんにでも対応できる1つの汎用型AIではなく、複数の特化型AIを用意（複数のAI_PCBを用意）することにした。基板種類ごとに対応するAI_PCB、さらに

設計者ごとで異なるAI_PCB（設計者Aの技術承継したAI_PCB、設計者Bの技術承継したAI_PCB）を存在させることにより、設計依頼が来た時に依頼内容とAI_PCBをマッチングさせるシステムにする（図9）。

◇まとめ

ベテラン設計者がもつ高い技術を価値化し、多くの方々に幅広く有効活用され、その対価として設計者が利益を享受する自動設計プラットフォームを開発。ベテラン設計者+AIとの二人三脚でさらなる発展的な技術向上や後進育成にも寄与できるものと考え、より高品質で高速なアートワーク設計（まだ“形”になっていない回路情報を基板製造用データとして高速に具現化する）の技術発展に貢献していく。

（2024.3.8- 受理）

文 献

RLHFについて

OpenAI社の論文 (<https://openai.com/research/instruction-following>)
アマゾン AWS (<https://aws.amazon.com/jp/what-is/reinforcement-learning-from-human-feedback/>)

†用語解説

GA（遺伝的アルゴリズム）：自然界の進化メカニズムを模倣した探索アルゴリズムで、最適化問題を解くために用いられる。個体群内の個体が解候補として表現され、選択、交叉、突然変異の遺伝的操作を通じて世代が進化する。これにより、時間が経過するにつれてよ

り良い解が生まれ、問題の近似最適解に収束することを目指す。

簡易説明) 隔世遺伝を繰り返すことで“イイとこ取り”になるのでマトモな答えを導き出しやすい。

RL (深層強化学習): エージェントが環境と相互作用しながら報酬を最大化する行動を学習するアルゴリズム。このプロセスでは、深層学習を使用して複雑な環境からの高次元のデータを処理し、効果的なポリシーを導き出す。エージェントは試行錯誤を通じて最適な行動を学習し、長期的な報酬を最大化する戦略を発展させる。

簡易説明) 短期的ではなく長期的に試行錯誤させて、各分野での評価の総合得点による最適解を導き出す。

著者紹介



北條 武 (ほうじょう たけし)
最終学歴はプログラミング専門学校。20歳でマスクメーカーの東京プロセスサービス株式会社(現:竹田東京プロセスサービス株式会社)に入社し、フォトマスク製作のCADグループに配属。当時(1990年)は、手作業からデータ化(CAM/CAD)に移行した頃で、テーピングによる配線パターン作成や、配線パターンをカミソリで削って修正したり、墨汁をつかって筆でピンホール修正する業務経験。CADでデータ作成しCAMで面付けなどデータ編集してLPPで描画し現像作業を経験。クロムマスク製造事業の新規立ち上げ(製造ライン構築)など、フォトマスク製作の全般を13年経験。その後、ソフトバンクでネットワーク回線事業を2年ほど経験した後、2005年トープロテクノサービス(株)に入社、2015年からは東プログループから独立し会社代表となる。2016年からAIによる自動設計を模索し始め、2017年から東大ベンチャーとの研究開発に着手、複数のAI開発会社とコンタクトをとり、2019年から試作開発、2021年に事業再構築補助金に採択されAI自動設計の本格開発がスタート、2023年1月にAI自動設計プラットフォームをプレオープンした。東京都中小企業振興公社のデジタル推進助成金に採択(2022年)、DX推進助成金に採択(2024年)している。