

セントラル・オペレーション・コックピット-自律型鉄鋼生産の中枢

The Central Operation Cockpit - The Heart and the Brains of Autonomous Steel Production



Kurt Herzog*1

Alexander Thekale*2

Gabriel Kroeg*3

人口構成の変化と効率向上への要求は、世界中の製鉄プラントが直面している最も差し迫った課題の一つである。Primetals Technologies Limited は製鉄業界の先駆者として、Central Operation Cockpit (COC) の開発を通じてこれらの課題に取り組んでいる。このソリューションは、AI による支援を通じて、一人のオペレータによるプラント全体の監視・運転を可能にし、製鉄プラントの完全自律化に向けた重要なステップである。直感的な可視化、状況に応じたガイダンス、複数モードによる支援機能を通じて、COC は、意思決定の一貫性を確保しながら、複雑な作業時のオペレータを支援する。プロセス技術者、オートメーションエンジニア、デジタル化専門家が一体となり、それぞれの深い知見と技術を結集して開発した COC は、Primetals Technologies Limited にとって中核的な技術プラットフォームであり、かつ世界の鉄鋼業界に対して先進的な技術モデルを示すものである。本システムは、製鉄プロセスに特化した AI とイノベーションが鉄鋼生産を根本的に変革し得ることを示している。

1. はじめに

世界の鉄鋼産業は現在、重大な転換期に立っている。人口構造の変化により、高度な専門知識を有するオペレータの数が減少する一方で、効率性、製品品質、持続可能性、及び運転信頼性への要求は高まっており、より高いレベルの自動化、最終的には自律的な生産への移行が求められている。

従来、製鉄プラントはプロセス領域ごとに高度な訓練を受けた担当者によって運転されている。この方式は過去には効果的であったが、個人の専門性に大きく依存するため、持続性に課題が出つつある。重大な事象が発生すると、特に夜間や異常なプロセス条件の場合などでは、対応が遅れたり、意思決定が一貫しなかったりして、ヒューマンエラーのリスクが高まる。

これらの課題に対処するために、Primetals Technologies Limited (以下、当社) は、プラント全域にわたる監視機能と意思決定支援機能を一元化し、一人のオペレータによる運転を可能にする中央集約型のコンセプトである Central Operation Cockpit (以下、COC) を開発した⁽¹⁾。

COC は、製鉄プロセスに特化した AI と現場プロセス知見を、インテリジェントな可視化、ガイド付きワークフロー、及び発生イベントに応じた連携運転と組み合わせ、映像管理、オートメーション、デジタルアシスタントなどと連携している。これにより、安全性、安定性、及び生産量を維持または向上させながら、オペレータ主導の運転から自律的な運転への構造化された移行を可能にし、段階的に高いレベルの自律性の基盤を提供する(図 1)。

COC は、運転上の差し迫った問題点を解決するだけでなく、継続的進化に向けた戦略的プラ

*1 Primetals Technologies Austria, ID, Head of Industrial Digitalization

*2 Primetals Technologies Germany, EA TO, Technology Officer Electrics&Automation

*3 Primetals Technologies Austria, EA ID SE, Product Owner

ットフォームとして位置づけられている。そのモジュラーアーキテクチャ、ルールベースの設定性、及びオペレータ中心の設計により、プラント固有の要件への迅速な適応、新しいアシスタントと分析機能の追加、及びさまざまなプラントタイプへのスケーラブルな展開が可能となる。このように、COC は、運転コックピットとしての機能と、次世代の自律型鉄鋼生産を実現するインフラストラクチャとしての機能の両方を備えている。

本報では、COC を次世代製鉄プラントの運転に向けた重要なマイルストーンと位置づけ、開発の動機、アプローチ、機能アーキテクチャについて紹介する。



図1 プラント自動化レベル

2. 開発

2.1 従来の操作室から COC への移行

図 2 に、従来の操作室レイアウトから COC コンセプトへの基本的な変化を示す。従来の熱間圧延ラインには、3 つの独立した操作室が必要であり、各操作室は生産ラインの近くに配置され、専任のオペレータが配置されていた。

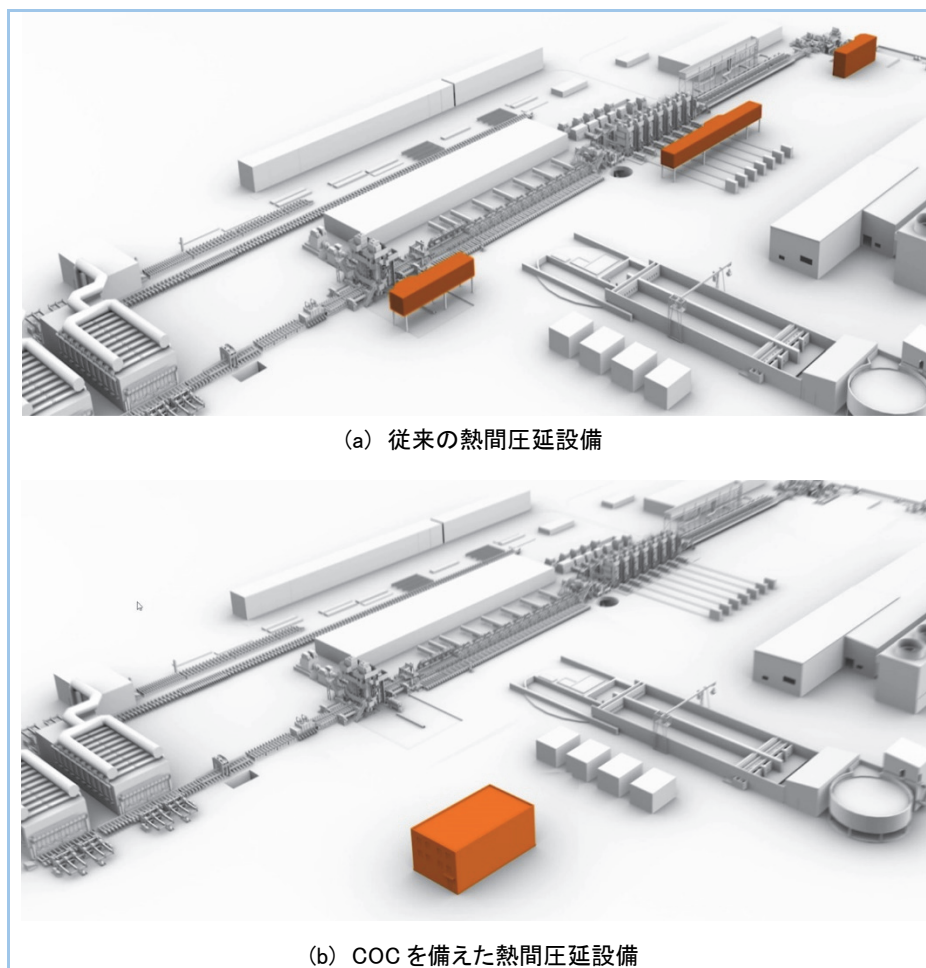


図2 熱間圧延設備のレイアウト

COC では、これらの機能が 1 つの集中操作室に統合され、操作室をプロセスエリア近傍に配置する必要がなくなる。直接的な視認がなくなる点は、プラント全体をカバーする CCTV(監視カメラシステム)と高度なデジタルアシスタントシステムで補われる^{(2),(3)}。

2.1.1 オペレータの過負荷の回避

ここで問題となるのは、一人のオペレータが複数エリアを監視して負荷過多にならないか、という点である。この問題はインテリジェントな支援システムが解決する。デジタルアシスタント(Digital Assistant 以下、DA)は AI を搭載した分析ツールで、カメラ映像やプロセスデータを監視し、異常を自動的に検出する。例えば、**図 3** の板反り検出アシスタントは圧延材先端の反りを検知し、寸法等の正確な測定値を提供する。オペレータには、介入が必要な場合にのみ警告が通知される。

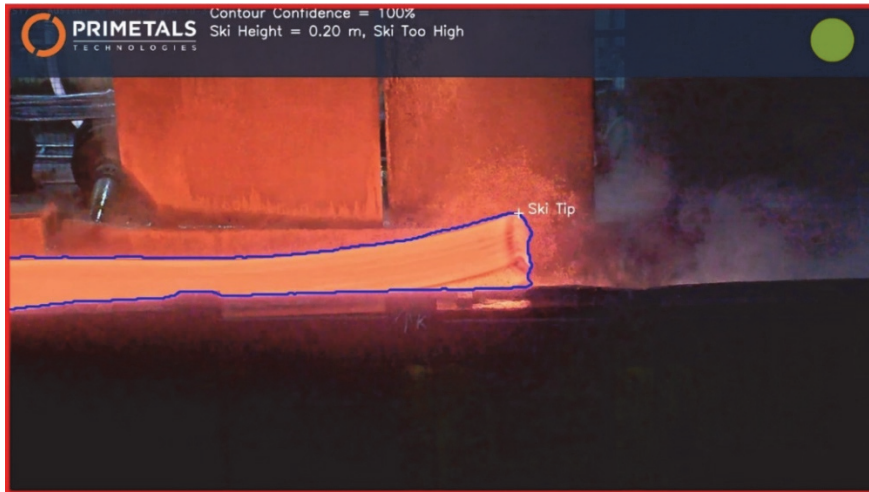


図3 熱間圧延における板反り検出デジタルアシスタント

2.1.2 将来のプラントにおける COC の役割

COC は受信した情報をフィルター処理し、オペレータが関連情報と推奨アクションのみを受け取るようにする。これにより、オペレータの認知的負荷を軽減し、集中力低下を防ぎ、ヒューマンエラーの発生リスクを低減させる。

つまり、任意のタイミングで、選択されたカメラ映像とヒューマン-マシンインタフェース (Human-Machine Interface 以下、HMI)のみがシステムに表示される。このために必要な 3 つの主要要素は以下のとおりである(**図 4**)。

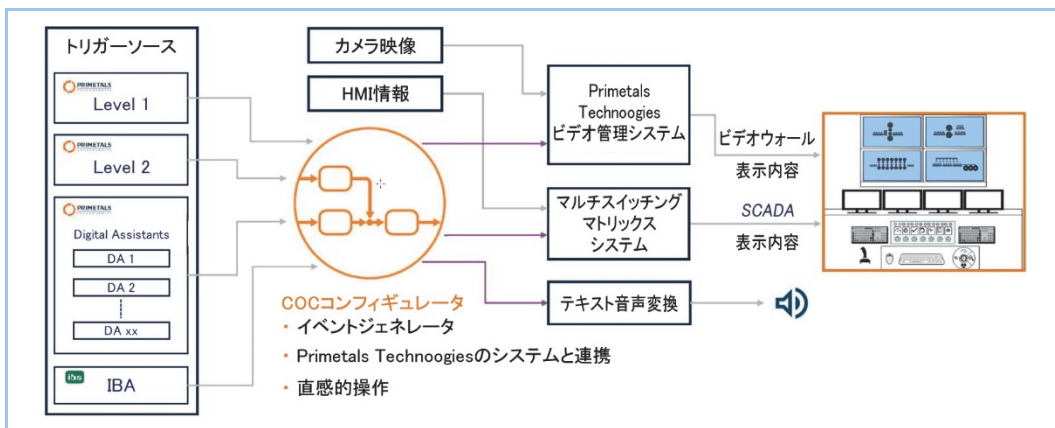


図4 COC システムの概要

- ・ COC コンフィギュレータ: 表示するコンテンツをオートメーションシステムの入力と DA 分析に基づいて決定する中央ルールエンジン
- ・ 映像管理システム: カメラ映像を動的に切り替えるシステム
- ・ KVM スwitchingシステム^{*1}: システム HMI を切り替えるシステム

COC コンフィギュレータは、他のすべてのコンポーネントを管理する。重大な事象が発生した場合は、オペレータと現場担当者の両方に対して音声アラートを発信することもできる。

*1: 1組のキーボード、ビデオ(モニタ)、及びマウスで複数のコンピュータを操作できるシステム

2.2 COC コンフィギュレータ

COC コンフィギュレータは、COC の中核ロジックエンジンであり、接続されたすべてのシステムをルールベースの自動化を通じて調整し、オペレータに適切な情報を適切なタイミングで提示する。

2.2.1 設計要件

コンフィギュレータは、COC の中心的なインテリジェンスとして、オートメーションシステム、DA、映像管理、及びオペレータインターフェイスを単一のルールエンジンの下に統合すると同時に、技術的背景の異なるユーザでも容易に扱えることが求められる。このため、以下を満たす必要がある。

- ・ プロセスイベントに対するコックピットの対応を定義するための柔軟なルール作成及び編集
- ・ リアルタイムな状況把握のためのオートメーションシステム及び DA との直接接続
- ・ すべての COC コンポーネントのシームレスな統合(図 4)
- ・ プログラミング経験がほとんどないユーザでもルール調整できる簡易性
- ・ コックピットのカスタマイズに向けたお客様及びサードパーティによるルール拡張のサポート

2.2.2 実装

COC コンフィギュレータは、COC 内におけるルールに基づくロジックを統合的に管理する中核ソフトウェアとして機能する。Web ベースのワークフロー自動化環境上に構築されており、専用の機能ブロックやインターフェイスモジュールを介して、オートメーションシステム、DA、その他の COC 構成要素と連携する。グラフィカルなルールエディタにより、直感的なドラッグアンドドロップワークフローの作成が可能である。

これにより、経験豊富なオペレータが、プログラミングの知識がなくてもルールを作成または変更でき、新しい運転方法、プロセス状況、及びプラント固有の知見に応じて COC を継続的に進化させることができる。

2.3 ビデオ管理

1 人のオペレータがプラント全体を安全に監視するためには、映像監視が不可欠である。当社は COC における映像監視の中核として、三菱重工業株式会社(以下、三菱重工)が開発した先進的なビデオ管理システム Σ SynX[®]を採用した⁽⁴⁾。

この統合は、三菱重工の産業用映像分析に関する広範な専門知識と、当社のプロセス及び自動化に関する深い知識を融合させた両社の緊密な協力の成果である。

2.3.1 設計要件

ビデオ管理サブシステムの主な要件は次のとおりである。

- ・ 複数のプラントエリアの集中監視
- ・ イベント発生に応じアシスタントにリンクされた可視化機能により、重要な映像を自動表示
- ・ 将来の拡張と自動化レベルの向上に対応する拡張性
- ・ オペレータ中心の操作性を通じた認知的負荷の最小化
- ・ COC コンフィギュレータとのシームレスな連携

2.3.2 三菱重工の Σ SynX の実装

Σ SynX は複数カメラの映像と COC コンフィギュレータをつなぐ中間管理システムとして機能する。カスタマイズ可能なディスプレイウォールにより、オペレータは監視用、アシスタント通知用、または分析用などの画面割当てが可能である。

システムは、異常時に関連するカメラ映像を自動的に表示する。たとえば、板反り検出アシスタントが圧延材先端の反りを検出すると、 Σ SynX は関連するカメラ映像を自動的に強調表示し、迅

速な確認と対応を可能にする。

2.4 人間工学的設計

人間工学は、COCが長時間のシフトで安全で効率的かつ疲労のない操作を支援するため、初期段階から中核的な設計目標とされた。

2.4.1 設計要件

オペレータ中心の直感的な作業環境を実現するため、以下が設計要件として設定された。

- 画面と操作系の最適配置
- 論理的にグループ化された明確な視覚的階層
- 重要事象を優先するレイアウト
- 快適でアクセスしやすいワークステーション設計
- 視覚と音響の組合せによる効果的なマルチモーダル通知

2.4.2 実装

当社は、コックピットの人間工学的なレイアウトを形成するために、オペレータ中心の共同開発アプローチを採用した。経験豊富なオペレータと造作の専門職が参加したモックアップ作成とプロトタイプセッションの反復を通じて、画面配置の最適化、自然な操作距離、明確で迷いにくい表示構造が実現された。レイアウトや色分けなどの視覚的な要素は、重大な事象への対応の迅速な方向付けをサポートするように段階的に調整され、通知方法は、タイムリーで直感的なガイダンスを確保するために、実際のオペレータの応答パターンを踏まえて設計された。その結果、疲労を最小限に抑え、オペレータの注意を効果的に誘導し、複数のプラントエリア監視の信頼性を確保するコックピット設計を実現した。

3. まとめ

COC は、製鉄プラント運転の近代化に向けた重要なステップである。高度な自動化、インテリジェントな映像管理、及び製鉄プロセスに特化した DA をオペレータ中心の人間工学に基づいた環境に統合することで、COC は状況認識、応答時間、及びプロセスの安定性において計測可能な改善を実現する。この集中化により、複数プラントエリアにわたる監視が容易になり、認知的負荷が軽減され、ガイド付きの一貫した介入が可能となる。これは、特に夜間や異常発生時に有効に機能する。

導入初期には COC 主導のオペレーションによる手動介入の削減、意思決定の標準化、ライン全体の透明性の向上が実証された。三菱重工社長賞、三菱重工特許賞、ドイツ Best of Industry 賞受賞などの業界での評価は、この技術の成熟度と鉄鋼以外の分野を含めた幅広い適用性の双方を示唆している。同様に重要なのは、オペレータからのフィードバックにより、直感的な可視化、発生事象に応じたガイダンス、及び人間工学に基づいたワークステーションの組合せが疲労を軽減し、長時間のシフトでも安全で信頼性の高いオペレーションをサポートすることが確認されていることである。

COC は、プラントの自律化を段階的に導入するための堅牢なプラットフォームを戦略的に確立する。COC コンフィギュレータがルールに基づくロジックを統合的に管理することで迅速な適応を可能にすることにより、プログラミングに関する深い専門知識がなくても、ベストプラクティスの定着、新しいアシスタントの適用、動作の改良を行うことができる。将来のロードマップには、より詳細な予測分析、アシスタントの対象範囲の拡大(異常検出、品質予測、スケジューリング支援など)、プラントセクションやサイト全体へのより広範な展開が含まれる。お客様が集中型の運転モデルを採用するにあたり、COC がインテリジェントでスケーラブルかつ安全なプラント監視のための先進モデルとなることが期待される。

COC は操作室の近代化に留まらず、自律型鉄鋼生産の戦略的な推進力となり、今日の運転実態と将来の自律運転機能の橋渡しをし、即時の価値を提供しながら、製鉄設備のライフサイク

ル全体にわたる継続的でデータ駆動型の改善の基礎を築くものである。

Σ SynX[®]は、三菱重工業株式会社の日本及びその他の国における登録商標です。

参考文献

- (1) Mukherjee, N. ほか, Interview of Key Expert, Steel&Metallurgy, Vol.28, No.1
- (2) Frenzel, J. ほか, Facilitating the Operator's Life: How Computer Vision based Digital Assistants can improve Plant Production, AISTech 2023 Iron&Steel Technology Conference Proceedings Volume I
- (3) Bauer, A. ほか, Assisting the Operator: Bringing Machine-Learning-Based Plant Supervision Operation Assistance into the Plant Production Process
- (4) 日浦亮太 ほか, 社会インフラの知能化・リモート化を実現するソフトウェア・プラットフォーム SynXTM-Supervision, 三菱重工技報, Vol.59, No.3(2022)