

米燃料石油化学製造者協会の2020 AFPM SUMMITにおける 製油所のAI化、IIoT化に関する報告

総務部調査情報グループ

1. はじめに
2. **Real-Time Crude Oil Data for Refinery Decision Making**
(製油所の意思決定のためのリアルタイム原油データ)
 - 2-1. AVEVA Group
 - 2-2. Real-Time Crude (RTC)
 - 2-3. RTC に関する質疑応答
3. **Dynamic Real-Time Optimization for Value Sustainment**
(価値維持のための動的リアルタイム最適化)
 - 3-1. KBC Advanced Technologies
 - 3-2. OpreX™ RT-OP と PACE
 - 3-3. RT-OP の使用例
 - 3-4. プラント最適化システムに関する質疑応答
4. **Deep Learning/Machine Learning with APC and Online Optimization**
(APC とオンライン最適化によるディープラーニング/機械学習)
 - 4-1. ODYS
 - 4-2. Model Predictive Control
 - 4-3. 高度なプロセス制御システムの設計と実装
5. **Smart Manufacturing Platform and Its Application to Equipment Monitoring**
(スマート製造プラットフォームとその機器監視への応用)
 - 5-1. Emerson Automation Solutions および Linde
 - 5-2. Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute (CESMII)
 - 5-3. CESMII パイロットプロジェクト
6. おわりに

1. はじめに

米燃料石油化学製造者協会 (American Fuel & Petrochemical Manufacturers, AFPM) の 2020 AFPM SUMMIT が、8月25日～27日の日程で、バーチャルで開催された。本レポートでは、製油所の競争力に係る技術動向に関する調査の一環として、製油所の AI 化、IIoT (Industrial Internet of Things) 化に関する、以下の4つのタイトルの発表について概要を報告する。

- ・ Real-Time Crude Oil Data for Refinery Decision Making
- ・ Dynamic Real-Time Optimization for Value Sustainment
- ・ Deep Learning/Machine Learning with MPC and Online Optimization
- ・ Smart Manufacturing Platform and Its Application to Equipment Monitoring

なお、本レポートは、石油精製技術に詳しい英語のネイティブスピーカーに聴講を依頼し、英語で報告を受けたものを翻訳してまとめた。

2. Real-Time Crude Oil Data for Refinery Decision Making (製油所の意思決定のためのリアルタイム原油データ)

2-1. AVEVA Group

講演者は、AVEVA Group の Product Manager である、Alex Woods 氏であった。AVEVA Group は、英国のケンブリッジに本社があり、40 か国以上の 80 か所に 4,400 人以上の従業員を擁している多国籍の情報技術企業である。ロンドン証券取引所に上場しており、FTSE100 インデックスの構成銘柄である。同社のホームページによると、コンピュータ支援設計センターとしてスタートした経緯があり、産業用ソフトウェアを開発して販売している。

2-2. Real-Time Crude (RTC)

AVEVA が今回紹介したのは、RTC と呼ばれる原油分析を迅速に行う新しいソフトウェアであり、次の2つで構成されている。

- ・ Schneider Electric 社製のフーリエ変換赤外分光装置 (以下、FT-IR と呼ぶ) により、少量の原油 (20ml 以下) サンプルで広範囲の波長の赤外線 (以下、IR と呼ぶ) スペクトルを数分で測定するハードウェア。
- ・ AVEVA Unified Supply Chain と呼ばれる、IR スペクトルを解析して、完全な原油分析を可能にするソフトウェア。

AVEVA によると、RTC は原油分析の項目である、蒸留性状、流動性などの性状や製品の組成など、従来の実験室での分析方法では数日から数週間かかることを迅速に特定できるとしている。FT-IR は、 1000cm^{-1} を超える波長まで測定できる、「拡張範囲フーリエ変換赤外分光法」(近赤外および遠赤外範囲) のテクノロジーを採用している。AVEVA は、従来の原油分析方法による測定結果と FT-IR で原油を分析した結果を、20 年以上にわたり大量にデータ蓄積している。その経験から、RTC で原油分析を迅速に行う手法を開発した (図 1 参照)。

FT-IR を原油の荷揚げポートまたはタンクヤードに設置することで、以下のことが達成できる。

- RTCにより更新された原油分析情報を、中央データベースで取得することにより、迅速に信頼性の高い情報を全社で使用できる。
- 原油分析データは、購入原油種の選定、運用計画、詳細なスケジューリングなど、サプライチェーンのモデリングの基礎となる。
- 最新のデータを使用して意思決定を行うことにより、実質的な実現可能性や経済的な効果が判定できる可能性がある。
- リアルタイムに原油を分析することにより、ブレンドの柔軟性を高める可能性がある。

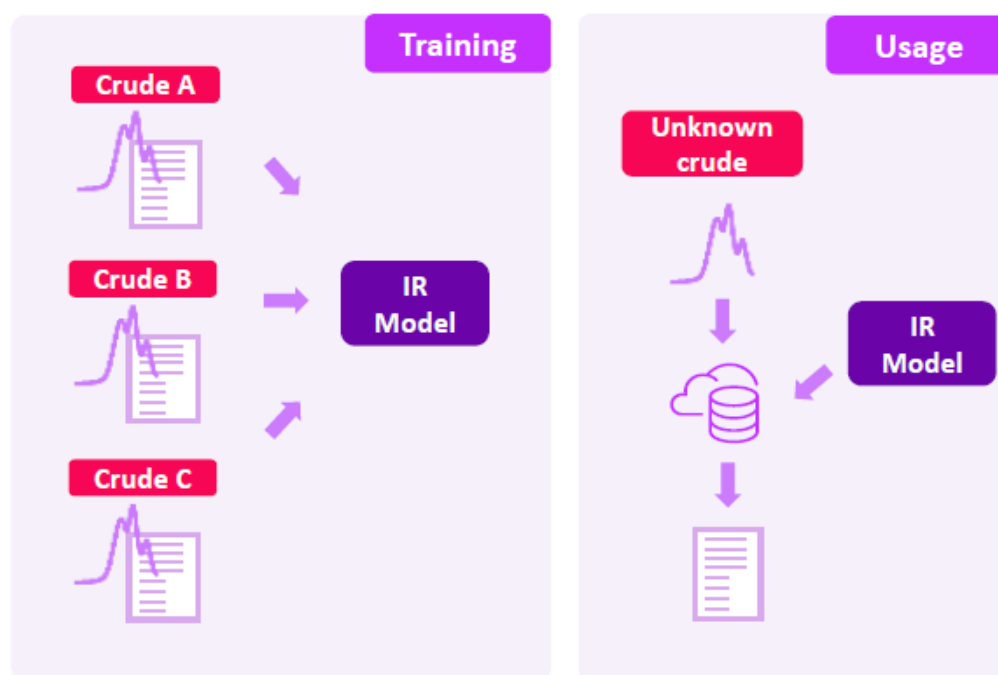


図1 RTCの開発と活用

出所：AVEVA ホームページ

AVEVAは石油精製会社ではなく、ソフトウェア会社であるため、顧客と協力して追加の原油分析データを取得し、今後も分析モデルを改善していくと述べた。つまり、すでに個々の原油グレードを正確に特徴付けることはできるが、次のステップとして、原油をブレンドしたときの、性状や組成を正確に解析する機能を開発することである。現在でも、一部の原油ブレンドの性状や組成は、IRデータとの相関性が高いため、正確に予測できるとしている。

最後に、Alex Woods氏は、RTCモジュールの簡単なデモンストレーションを行った。まず、アラビアンミディアム原油のIRデータセットと実際のアラビアンミディアム原油の分析データとの比較を画

¹ AVEVA ホームページ：

https://www.coqa-inc.org/docs/default-source/dallas-2019/101019-unavane-real-time-crude-measurement.pdf?sfvrsn=8d6848bb_2

面表示し、実際の分析データと IR 分析データが相関することを示した。また、原油の種類が不明な場合、RTC モジュールは、IR で解析した特性を、実際の原油評価の既存データベースと自動的に比較して、原油の種類を特定できると述べていた。

2-3. RTC に関する質疑応答

Alex Woods 氏の発表の後に質疑応答が行われた。主なものを以下に示す。

Q : FCC 装置のフィード分析への応用（組成、芳香族分解、金属など）はできるか？

A : フィードの品質を明確にするという点では、直留基材を中心に、RTC は個々の蒸留フラクションのすべてを、特徴づけることができる。蒸留のカテゴリーを超えて、さらに化学変化が起きた基材では、RTC で特徴づけるのは難しい。

Q : IR から確実に予測できる性状、組成のリストはあるか？

A : AVEVA の詳細なモデルパフォーマンスレポートでは、どの性状、組成が自信を持って予測でき、どの性状、組成が予測できないかについての洞察を提供している。

Q : このアプリケーションは、現在商業的に使用されているか？

A : AVEVA は、2020 年 8 月にこの製品をお客様（名前は言えない）に導入した。AVEVA は、この製品を改善するために、最初の顧客と協力している最中である。

Q : 残留物に固有の特性を与える可能性はあるか？

A : AVEVA のソフトウェアは、広範囲の沸点留分にわたって、幅広い性状、組成を予測するのに適している。残油率は AVEVA の標準モデリング機能によって、リアルタイムで予測できる。

3. Dynamic Real-Time Optimization for Value Sustainment（価値維持のための動的リアルタイム最適化）

3-1. KBC Advanced Technologies

講演者は、KBC Advanced Technologies（以下、KBC と呼ぶ）の APC Manager である Brian Burgio 氏であった。KBC は、石油・ガス産業における技術ベースのコンサルタント会社である。本社は英国のロンドン郊外にあり、世界中にオフィスを構え、ヒューストンとシンガポールで主要な事業を展開している。KBC が開発したデジタルトランスフォーメーションは、クラウドを活用した最先端のソフトウェアと専門家のサポートで、運用計画の厳格な遵守、トラブルへの迅速な対応、高収益性などを可能にするとしている。

KBC は、2016 年 4 月に横河電機株式会社を買収されて完全子会社となった。

3-2. OpreX™ RT-OP と PACE

表 1 に示すような、プラントの操業を妨げる障害に対処するために、KBC は OpreX™ の商標で、Real Time Optimization system（以下、RT-OP と呼ぶ）を開発した。

表1 プラントの操業を妨げる障害

環境	政治	経済	産業
-気候変動 -自然災害 -GHG 排出	-規制 -コンプライアンス -立法上の制限	-供給源 -需要変動 -価格変動 -産業競争	-運用上の危険 -機器の可用性 -企業戦略 -タレントマネジメント

出所：講演内容より JPEC で作成

このシステムは、プラントの障害に迅速に対応するために、ゲイン（プロセスの特性による非線形性）と最適な動作点を別々に計算する。最適な動作点が、5～10 分ごとに更新されるのに対して、ゲインは、約 2 時間ごとに更新される。講演者は、このシステムの機能は、競合他社のシステム（平均 2 時間ごとに最適な動作点を決定）よりも優れていると主張していた。RT-OP では、2 時間ごとにプロセスゲインを計算し、その情報は最適化レイヤーに送られる。

最適化レイヤーは、KBC の高性能な自動性能制御（Automatic Performance Control : 以下、APC と呼ぶ）システムである、高度な制御と推定をするプラットフォーム（Platform for Advanced Control and Estimation : 以下、PACE（図 2 参照）と呼ぶ）を使用している。

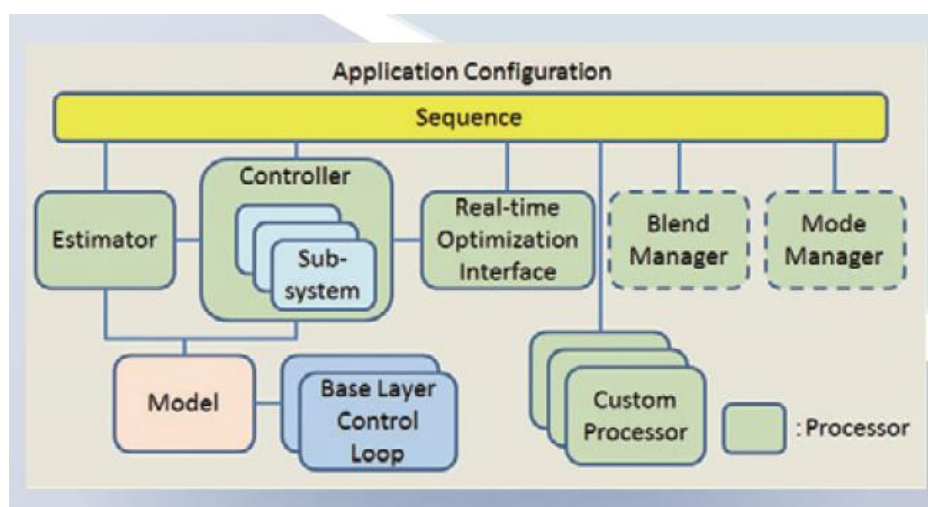


図2 PACEのシステムの構造

出所：KBC ホームページ²

PACE では、高度な制御と推定が、5～10 分ごとに実行される。これにより、プラントの操業を妨げる障害をかなり迅速に排除でき、実際のパフォーマンスと最適な動作点との間のギャップを最小限に抑えることができる。

² KBC ホームページ：https://www.kbc.global/uploads/files/software/PACE_Brochure2.pdf

3-3. RT-OP の使用例

Brian Burgio 氏は、講演の最後に RT-OP のエチレンプラントへの導入例について説明した。エチレンプラントは通常、プラントのパフォーマンスと収益性を最適化するための自由度（自由変数）がある。

これらには、原料（エタン、プロパン、液体など）の組成、運転モード（分解率、蒸気/炭化水素の比率、炉の数と運転状況など）、および原料と製品の価格変化がある。RT-OP テクノロジーを効果的にするには、自由変数を分単位で考慮する必要があると、Brian Burgio 氏は述べていた。

3-4. プラント最適化システムに関する質疑応答

Brian Burgio 氏の発表の後に質疑応答が行われた。主なものを以下に示す。

Q：RT-OP を実装するには APC レイヤーが必要か？

A：はい。

Q：最適マイザーを備えた APC を既に持っている場合、RT-OP がその最適マイザーの代わりになるか？

A：はい。PACE には最適マイザーが組み込まれており、RT-OP がその仕事を実行できるようにオフになっている。RT-OP の最適マイザーをオフにすると、APC レイヤー内の最適マイザーがオンになる。

Q：RT-OP は、PACE 以外の他の制御パッケージで動作するように構成できるか？

A：はい。

Q：1 つの装置に実装するのにどのくらい時間がかかるか？

A：ゼロから始めると、RT-OP をインストールするまでに 6 か月のプロジェクトになる可能性がある。既存のリアルタイムシミュレーターからオンラインに移行する場合、必要な時間は約 2~3 か月である。

Q：RT-OP テクノロジーに明らかに適している特定の装置はあるか？

A：装置全体の目的に影響をおよぼす非線形関係がどこにあるかによって異なる。オレフィン製造装置は非常に良い候補であり、FCC 装置も良い候補である。

4. Deep Learning/Machine Learning with APC and Online Optimization (APC とオンライン最適化によるディープラーニング/機械学習)

4-1. ODYS

講演者は、ODYS の Scientific Adviser である、Alberto Bemporad 氏であった。ODYS は、元々は IMT Lucca 大学の研究室であったが、2011 年に独立して設立された民間企業であり、高度なモデルベースの制御と機械学習テクノロジーにおける市場の需要に応じている。モデル予測制御と最適化の第一人者によって設立された ODYS は、25 年以上の理論的および応用的研究の専門知識に基づく、プロセスの動的モデルと数値最適化アルゴリズムを制御に活用している。

4-2. Model Predictive Control

講演者は、講演タイトルにある APC に関して一切言及しなかったが、3 章にでてきた Automatic Process Control のことであると思われる。

Model Predictive Control (以下、MPC と呼ぶ) は、APC の進化型のように、高度な多変数制御設計による予測モデルと効率的なリアルタイム最適化アルゴリズムにより、最適な制御アクションを選択する制御手法である。ODYS は、自動車、航空宇宙、エネルギーおよびプロセスの分野に組み込めるシステムとアプリケーションを開発している。その一例として、ODYS はゼネラルモーターズと緊密に協力して、ターボ付きガソリンエンジンのエンジンコントロールシステム用に、トルク追従型の MPC を開発し、2018 年から大量生産されている。

最適化アルゴリズムは、機械学習 (Machine Learning : 以下、ML と呼ぶ) の手法で、MASRA-C2012 準拠の C 言語を使用した、ニューラルネットワーク (ODYS ディープラーニング) により、予測モデルをサポートしている。

4-3. 高度なプロセス制御システムの設計と実装

最後に、Alberto Bemporad 氏は、非等温連続攪拌槽型反応器 (nonisothermal continually stirred tank reactor) を使用して、エチレンをエチレンオキシドに酸化させるプラントへの MPC の適用について説明した。ニューラルネットワークは非線形モデルを採用しており、トレーニングするために、1,000 のトレーニングサンプルを使用していた。

結論として、ML を組み込んだ MPC での制御は、非等温連続攪拌槽型反応器において、効率的かつ信頼性の高い方法であると結論付けていた。

5. Smart Manufacturing Platform and Its Application to Equipment Monitoring (スマート製造プラットフォームとその機器監視への応用)

5-1. Emerson Automation Solutions および Linde

講演者は、Emerson Automation Solutions の Pete Sharpe 氏と Linde の Jesus Flores Cerillo 氏であった。

Emerson Automation Solutions は、米国ミズーリー州に本社を置く多国籍企業 Emerson Electric Co. の子会社である。同社は、幅広い産業や消費者市場に、エンジニアリングサービスを提供している。

Linde は、2018 年にドイツの Linde AG と、米国の Praxair が経営統合して設立され、イギリスに本社を置く持株会社である。同社は、世界中で事業を展開しており、特に産業用ガスの分野における世界最大手である。

Emerson Automation Solutions と Linde は、共にエネルギー、化学分野でスマート製造技術を開発するための、米国エネルギー省 (DOE) が管轄する官民パートナーシップに参加している。

5-2. Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute (CESMII)

まず、Pete Sharpe 氏は米国の National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) の 14 の研究所の 1 つである、CESMII について説明した。

CESMII は 2016 年に設立され、製造施設で利用可能な多量の情報をリアルタイムで収集、共有および処理できるテクノロジーとソリューションの研究開発に重点を置いている。CESMII メンバーは、50% が民間企業で、残り 50% が大学、研究および政府機関である。CESMII 運営は、DOE が 50% の助成金を出しており、残り 50% は産業界が資金提供している。

CESMII の目標は、プラントのシステムからクラウド内の主要なデータアプリケーションへのデータ転送を管理すること、共通のプラットフォームを作成し、IIoT 市場のすべてのソフトウェアベンダーが、データ分析、人工知能、機械学習などを可能にすることである。

5-3. CESMII パイロットプロジェクト

Jesus Flores Cerillo 氏は、CESMII パイロットプロジェクトについて説明した。このパイロットプロジェクトには、以下が含まれる。

- ・ 様々なセンサーにワイヤレステクノロジーを使用した、プラントの計装とリモート監視。
- ・ CESMII クラウドへの安全なデータ転送と実際のプラントデータの統合。
- ・ 機器の動作とパフォーマンスを予測するためのデジタルツインの実装。

このプロジェクトでは、インディアナ州バーンズハーバー地区にある Praxair 社の空気分離装置のプラントで、実証試験を行っている。このプラントでのパイロットプロジェクトでは、6 台のフィードコンプレッサーと 2 台のポンプで、ワイヤレスセンサー監視テクノロジーを検討した。

パイロットプロジェクトは 2019 年後半に開始され、Linde はワイヤレス IIoT センサーのインストールと監視機器のテストに関する、主要なパイロットプロジェクトの目標を達成し、予定よりも早くプロジェクトは完了した。2020 年 5 月より、コンプレッサーとポンプのパフォーマンスを監視し続けており、長期的なスマートマニュファクチャリング (SM) プラットフォームの開発を進めるためのパートナーを探している。

6. おわりに

今回聴講した 4 つの発表のうち、AVEVA Group と KBC は、すでにプロセスでのシステムの実用化を達成しており、ODYS は自動車のエンジン制御での大量生産を契機に、他業種への適用も試みている。このように、米国では製油所の操業における AI 化、IIoT 化が着実に進みつつあり、かつこの分野の研究開発も盛んのようなのである。

以 上

(問い合わせ先)

一般財団法人石油エネルギー技術センター 総務部 調査情報グループ pisap@pecj.or.jp

本調査は、一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)が資源エネルギー庁からの委託により実施しているものです。無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2020 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved