

2021年度 JPECフォーラム

石油精製・ケミカル原料化に係る
最適化・効率化に資する最新デジタル技術
の調査

2021年5月12日

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
技術企画部

内容

1. 背景と調査内容

石化シフトの必要性 & デジタル技術利活用(DX)
製油所の最適化・効率化に資する最新デジタル技術

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

- アスペンテック
- 横河電機(株)ほか
- まとめ

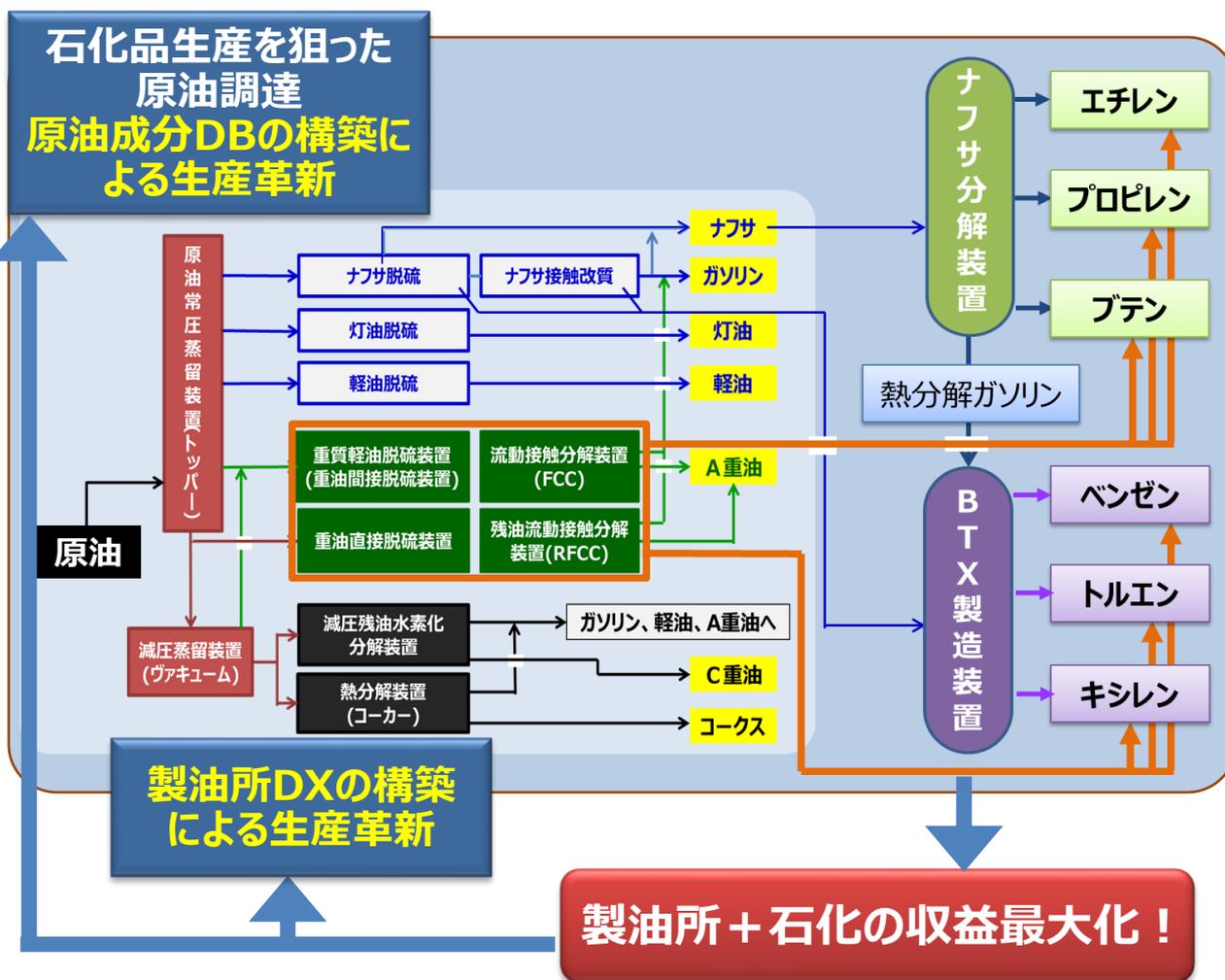
3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

- 背景(製油所で活用されるオンラインアナライザーラインナップ)
- 近赤外分光分析(NIR)ー横河電機(株)
- RTC(Real Time Crude)ーアヴィバ(株)

4. まとめ

1. 調査内容 製油所の最適化・効率化に資する最新デジタル技術

- ① 詳細な原油成分情報（ペトロリオミクス技術）を踏まえつつ、製油所の入口から出口までの製油所全体最適化を目標とした動的な高度制御技術の確立に資する調査
- ② 製油所の現場データ類を利用したリアルタイム成分分析・推測技術に資する、新規開発を含むオンライン分析計などの計測・解析技術の動向調査



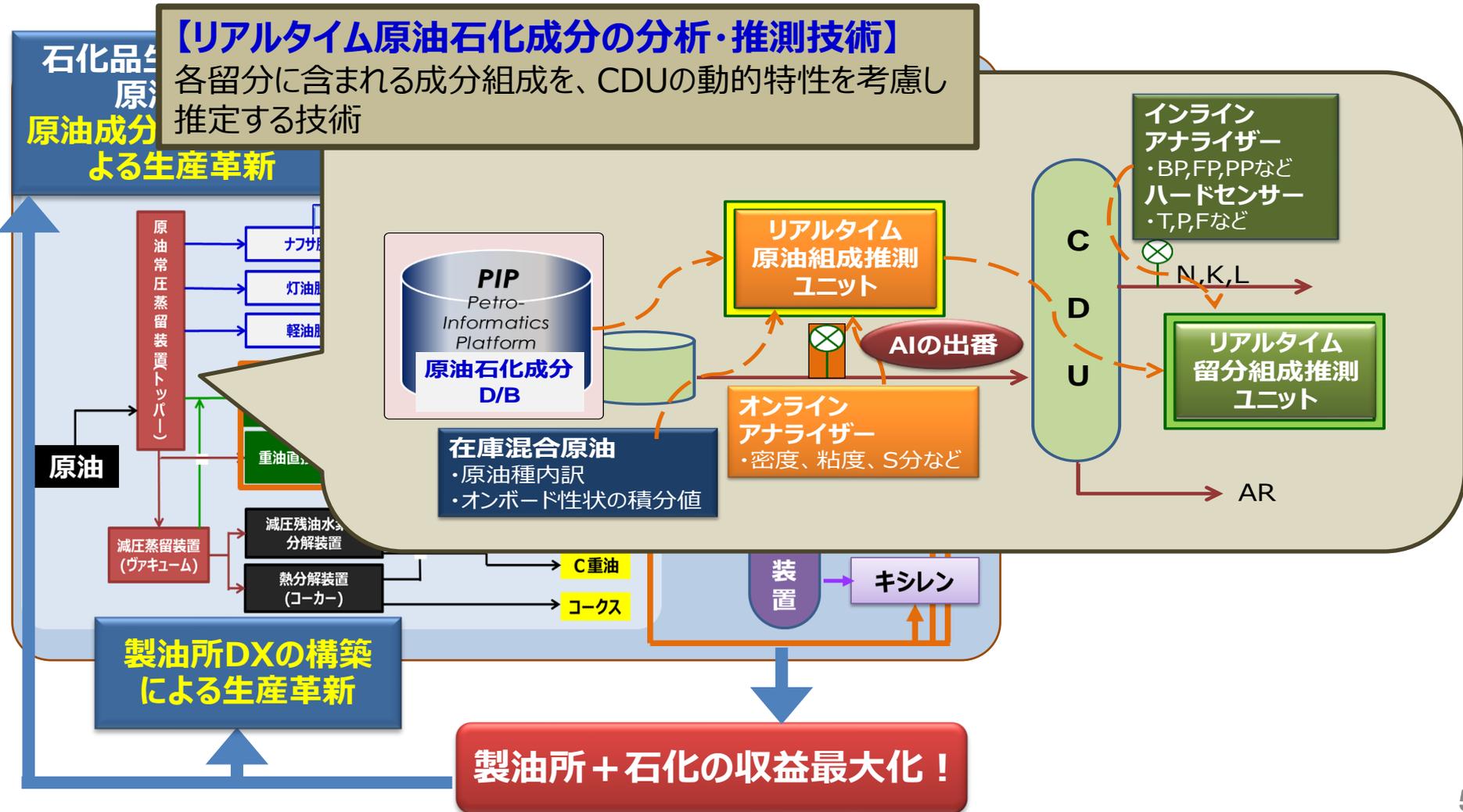
1. 調査内容 製油所の最適化・効率化に資する最新デジタル技術

- ① 詳細な原油成分情報（ペトロオミクス技術）を踏まえつつ、製油所の入口から出口までの製油所全体最適化を目標とした動的な高度制御技術の確立に資する調査
- ② 製油所の現場データ類を利用した**リアルタイム成分分析・推測技術**に資する、新規開発を含む**オンライン分析計**などの計測・解析技術の動向調査

【リアルタイム原油石化成分の分析・推測技術】

各留分に含まれる成分組成を、CDUの動的特性を考慮し推定する技術

石化品生
原油成分
による生産革新



製油所+石化の収益最大化!

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

今後の製油所の方向性（2019年度調査検討結果）

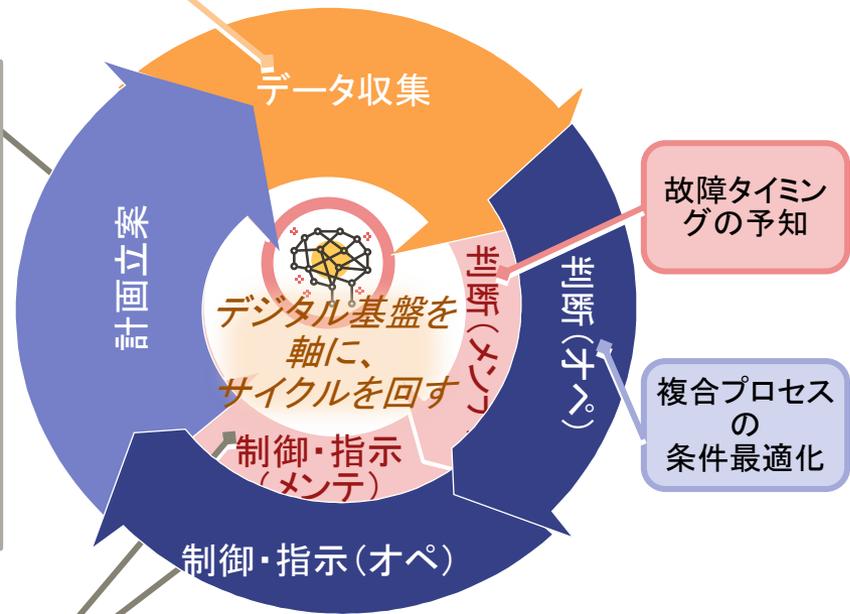
オペレーション・メンテナンス双方の**プロセスをDXし統合管理**すれば、シナジーが生まれ製油所全体の効率化/高度化/生産性向上が実現可能となる
 オペレーションのDXと、メンテナンスのDXが相互に連関

メンテ・オペ双方に活用するデータを収集・見える化し、一元管理

- 振動・温度など 運転データ
- (ペトロリオミックス等の)原料成分
- 過去の運転における「運転効率」評価結果

制御・指示の結果／収集されたデータを、(メンテ・オペ相互に連携しつつ)リアルタイムに反映

- 外乱*1発生に伴い計画更新
- 予兆・リスク検知に伴い計画更新



- オペレーション、メンテナンスの自動化が進み人員・工数の最小化
- オペレーション計画とメンテナンス計画がダイナミックに連動し、装置効率高く、スループットが最大になる運営が可能
 - ✓ 外乱・予測外の事態に対し、生産効率、装置稼働、メンテ予定等を踏まえた最適解に基づき対処
 - ✓ 予兆・コンディション・リスクベースでのメンテナンスが行われ、ダウンタイムが最小となり装置効率最大

各種自動制御や、運転員サポート

- アクチュエータ自動制御
- メンテタイミング／個所の指示
- 教育 (AR/VRや作業レコメンド)

*1(天候・気温変化などの外部環境変化、突発的メンテナンス対応などによる内部要因変化の双方含む)

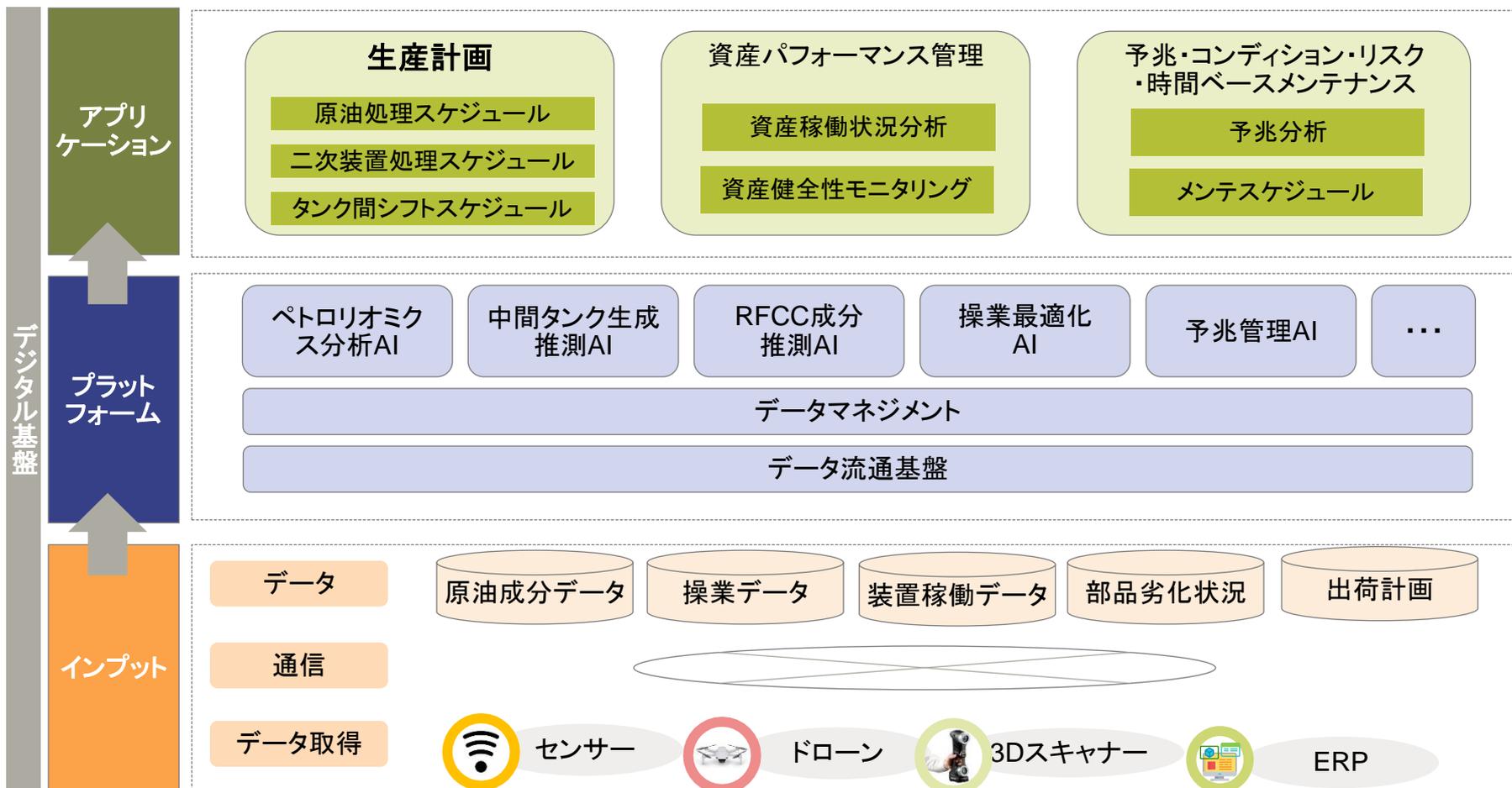
2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

今後の製油所の方向性（2019年度調査検討結果）

オペレーション・メンテナンス双方の**プロセスをDXし統合管理**すれば、シナジーが生まれ製油所全体の効率化/高度化/生産性向上が実現可能となる

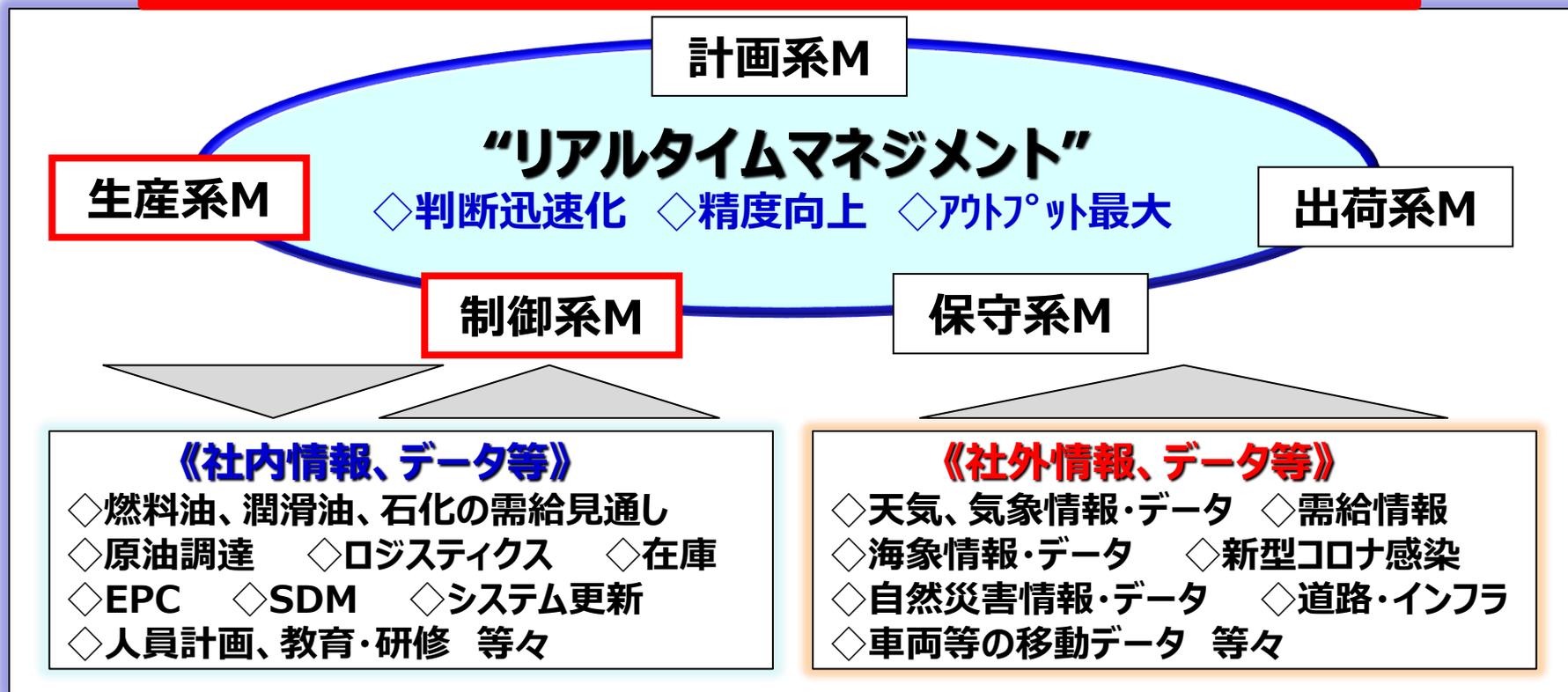
DXされた製油所に求められるアーキテクチャ（イメージ）

Illustrative



将来型製油所のためのDX実現構想（案）

製油所IIoTプラットフォーム



◇ペトロリオミクス技術を駆使して製油所のend to endのIIoTプラットフォームの構築、各モジュールを連動させてリアルタイムに全体最適化を図るエコシステム全体構築が課題

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

アスペンテック社 (AspenTech)

会社概要

AspenTech社はAIセクターの会社へ向かっています



プロセス製造業界向け
最適化ソフトウェアソリューション
世界最大手

世界2,300社を超えるお客様

エネルギー、化学、エンジニアリングの業界で多くの実績

30年以上の技術リーダーシップとイノベーション

最適化や生産性のために不可欠なソリューション

経験豊富な技術者によるコンサルティング

世界の石油会社 上
位20社中

20社



世界の化学会社
上位20社中

20社

世界のエンジニアリング会社
上位20社中

19社



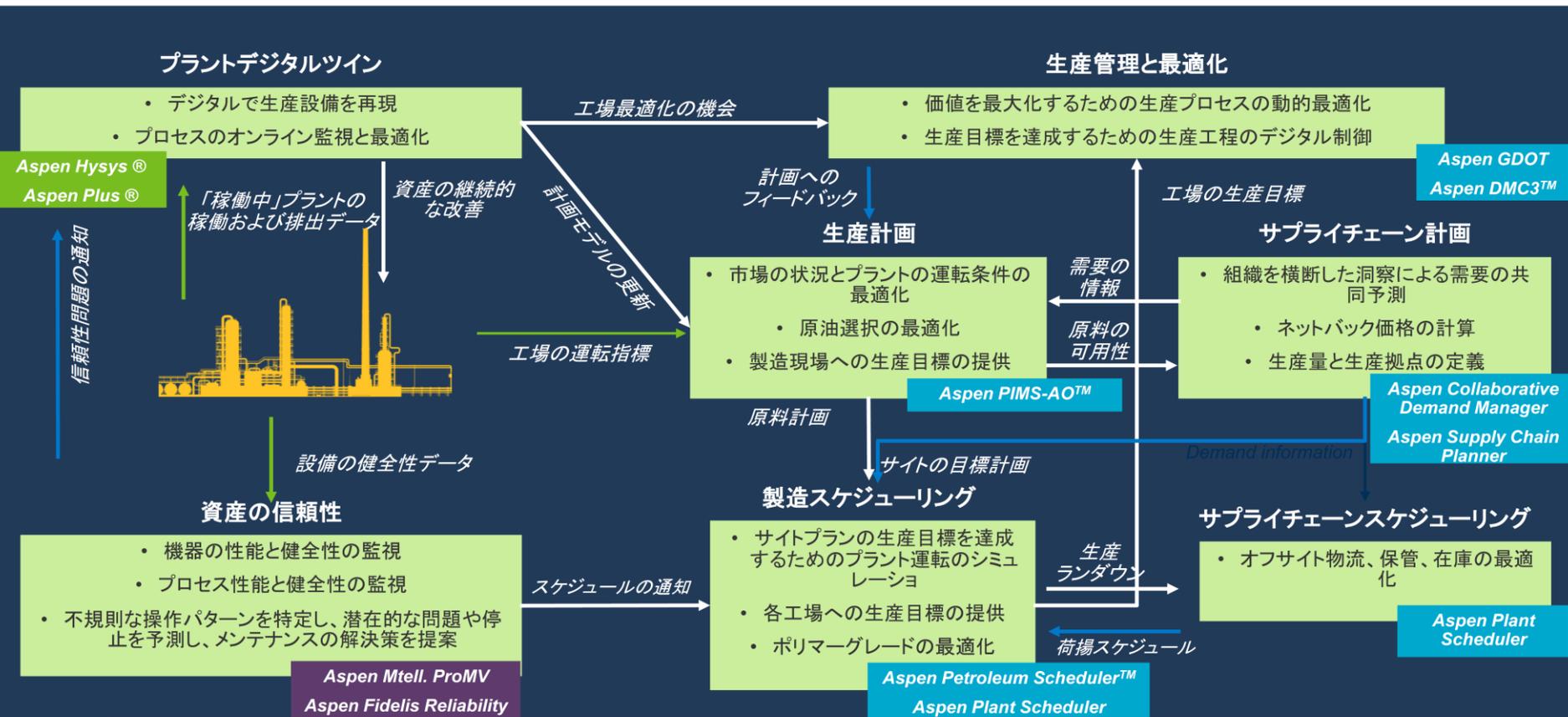
米国、マサチューセッツ工科大学(MIT)と、米国エネルギー省(DOE)の共同研究プロジェクトを契機として起業し、今日に至る (1995年米国 NASDAQに上場)

本社は米国 ボストン 今年で創業40年目

プロセスシミュレーション (Refining Market) 関連では世界最大のマーケットシェア
デジタル化、AI/IIOTを強化しAIセクターの会社を目指している
2019年 AI関連会社2社を買収 (Mnubo、Sabisu)

アスペンテック社 (AspenTech)

デジタルソリューションの統合アプローチ 分野を超えた最適化

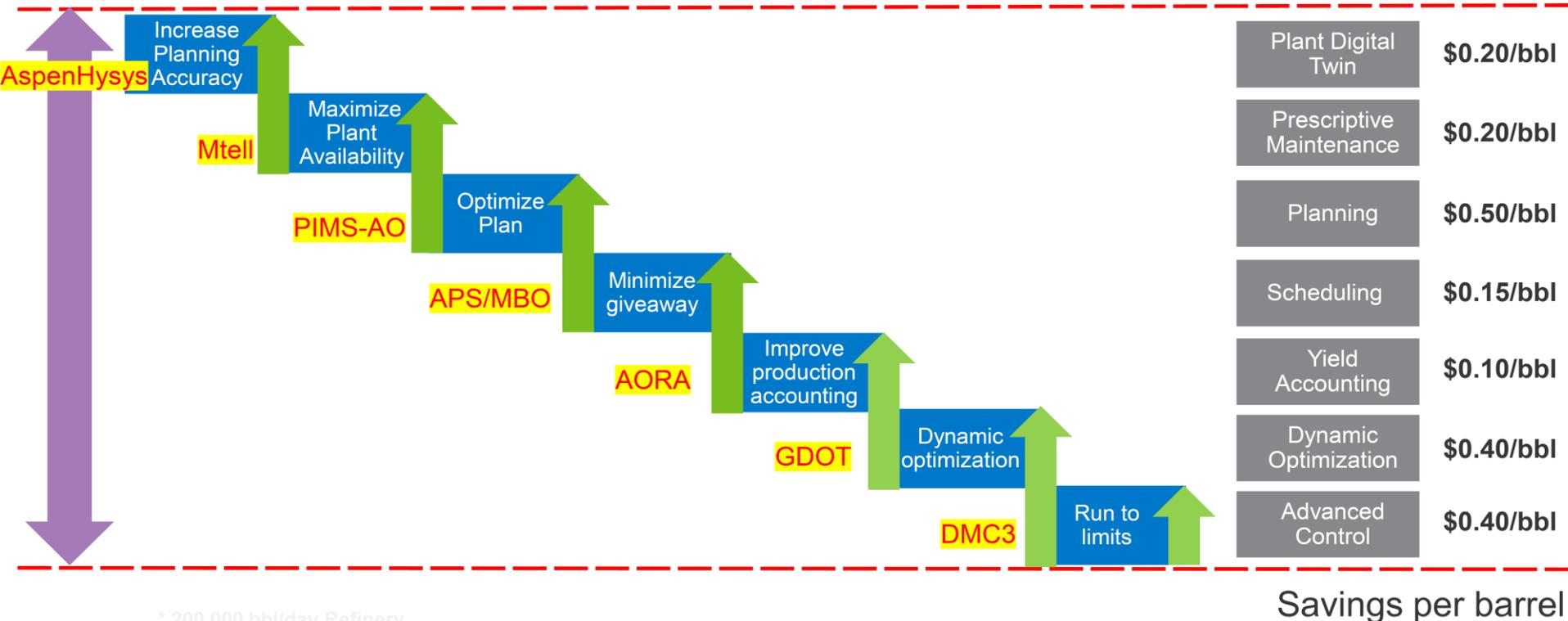


- ◆ 該社の構想は、製油所のend to endに跨る**サプライチェーン全体の最適化**
- ◆ バリューチェーンとしては、石油精製～**石油化学**～**化学**までも視野
- ◆ キーワードは、「静的制御から**動的制御**」、「**部分最適化**から**全体最適化**」、「**アセットライフサイクル全体の最適化**」等

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

アスペンテック社 (AspenTech)

各ソリューションによりアクチュアルと最適プランとのギャップを最小化



アスペンテック社の事業構想としては、各種ソフトウェアやツール類を統合したプラットフォームを構築して、製油所のend to endに跨るサプライチェーン全体を最適化することである。バリューチェーンとしては、石油精製～石油化学～化学までも視野に入れている。サプライチェーン全体最適化を達成する為、パッケージ化したソフトウェア類をラインナップ

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

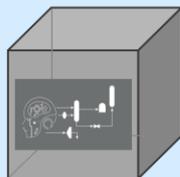
Hybrid Modeling Vision

アスペンテック社 (AspenTech)

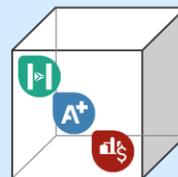
Black Box
AI & Machine Learning Models



Grey Box
Hybrid Models



White Box
Empirical & 1st Principle Models



VISION

Revolutionize the model creation & deployment workflow to build self-sustaining fit-for-purpose models to be used with confidence across the asset lifecycle

© aspentech

© 2019 Aspen Technology, Inc. All rights reserved.

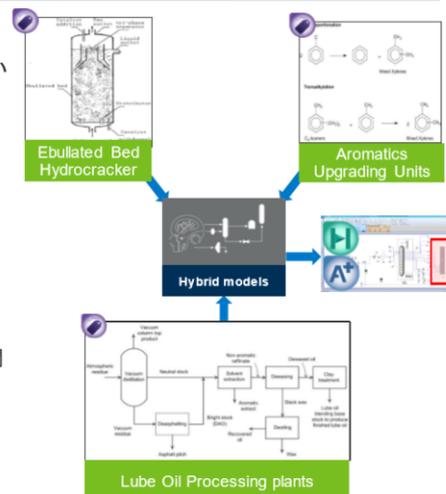
Hybrid Reactor/Equipment/Pipeline Models

CHALLENGES

- 特定のリアクターや装置にエンジニアリングモデルが利用できない場合
- 複雑な反応ネットワーク/速度論、未知のメカニズム
- 第一原理で捉えられない現象
- 設計、最適化、トラブルシューティングが難しい

VISION

- 既存の第一原理モデルのライブラリでは対応困難なプロセスに、HYSYS & Aspen Plus内でハイブリッドモデルを迅速に構築・展開
- 自動校正および自動検証機能を備えプラントとの同期を維持



Aspen-HYSYSを使用しAspen-PIMSモデルを更新、FCCユニットの反応速度論モデルにて当該ユニットを最適化。FCCユニットの計画精度向上 (98%)

既存の第一原理モデルでは対応困難なプロセスに、AIを組み込んだハイブリッドモデルを展開し、複雑な反応等のシミュレーション精度向上を図る狙い。

横河電機株式会社

2015年に創立100周年。

従来の計測機器事業主体から、ソリューションサービス事業にリソースを集中（2008年）。
世界60か国に109支店と3か所の関連会社を配したグローバル企業

デジタルトランスフォーメーション（DX）を中期経営計画の中心に位置づけ
ITとOT（Operational Technology）の融合による製造現場の変革に挑戦

- ◆ OPA（Open Process Automation）
- ◆ IA2IA（Industrial Automation to Industrial **Autonomy**）

製造現場（プラント）の自動化（Automation）から自律化（Autonomy）へ

AIとDigital Twin – CPS（Cyber Physical System）がポイント

- ・ AIを用い実プラントの教師あり学習から機械強化学習を経て将来予測を可能
 - ・ 最適運転方法の探索から運転ガイドを提示
 - ・ 更なる信頼性の向上を獲得できれば自動運転、さらには自律運転が視野に
- ↑
- ・ ミラープラントと実プラントをオンライン（秒周期）でつないだデジタルツイン

出典：横河電機株式会社ホームページ

<https://www.yokogawa.co.jp/about/ir/shiryo/business-briefing-ja/>

2. 製油所全体最適化に資する高度制御技術に関する調査

EQUINOX (インド) ・NEXTADIUM (スペイン)

ITとビッグデータを駆使した独自のデジタル技術を石油精製に提供することを目指している。

石油精製の運転制御には、多くの既存技術に基づくプラットフォームが存在しているが、これらとは**独立した技術**を既存プラットフォームに付加価値を与える形式でデータ提供を行う。



原油種の変更に伴い新しい原油の蒸留塔（CDU）に対する最適化には2日から3日のロスが生ずる。

- ① CDUの現実適用モデルをハイブリッドで構築
 - ② 実データによりプラントモデルを補正(Calibrate)
 - ③ 補正プラントモデルで未知の原油最適化を予測
- ↓ 効果
- 1) 製品正常予測精度の向上（1-2億円/年）
 - 2) 原油種変更時の最適化時間短縮（50%以上）



1) その他の参考企業情報

➤ FogHorn社：ストリーミングデータ解析

- ・ 時間軸が異なる複数のストリーミングデータを推論モデルに入力、リアルタイム解析・予測

➤ Beyond Limits社：コグニティブ「経験的知識に基づく」AI

- ・ カリフォルニア工科大学が母体（NASA火星探査機のプログラム技術に応用）
- ・ 専門家の知識や経験を組み込んで人間の様な推論を行い、説明が可能な出力
- ・ ROA（Refinery Operations Advisor）による最適化モデルの提供

2) まとめ

- 高度運転制御技術は、従来の静的な予測だけではなくリアルタイムを含む動的予測までターゲット
 - 膨大なデータを収集、整理・解釈するため、最新のAI技術に厳格な物理モデルを組合せたハイブリッドモデルが主流になりつつある
 - 運転プラントをデジタルツインとすることで、最終的には自動・自律運転を視野に入れた取り組みが開始されている
 - 課題
 - ・ 大手の各種ソリューション・PFに付加価値を与える新技術のあり方
 - ・ 製油所各プロセスの現場実データの取り方
- 製油所DXに相応しい新しいしくみが必要！ → [オンラインアナライザー調査へ](#)

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

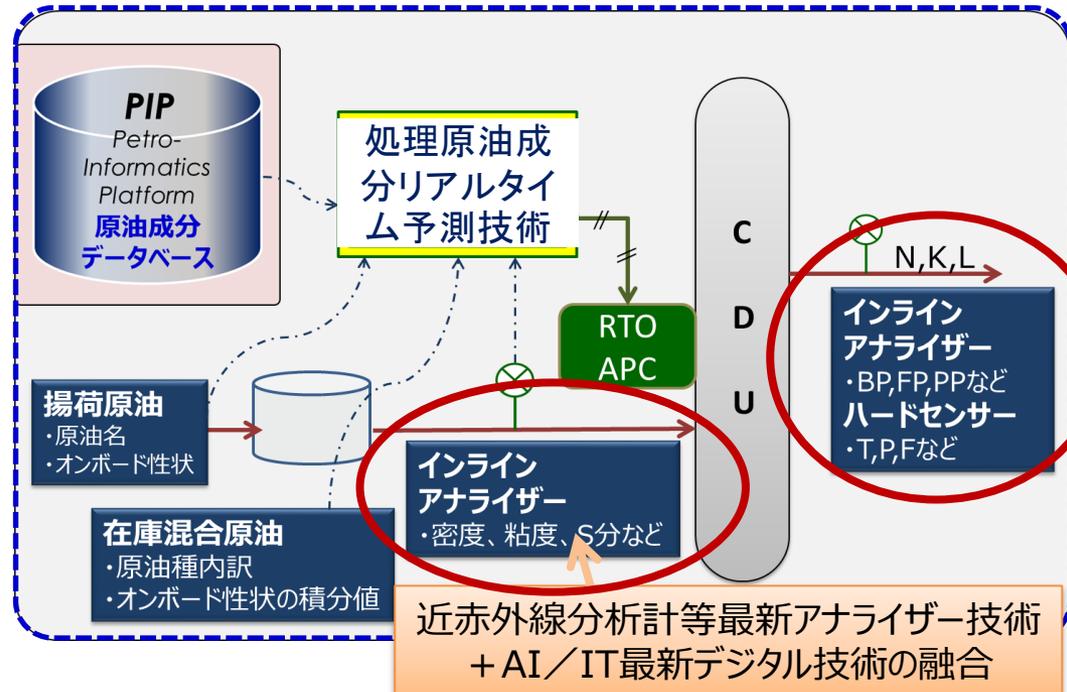
調査の背景 – ペトロ技術による処理原油成分のリアルタイム予測技術の実現 –

【ペトロ技術による原油成分データベースの状況と課題】

- 現事業終了時で25原油種、将来的には50～100原油種を格納
- 各原油種につき、JACD記述の60数万成分と一般性状値（蒸留温度、密度、粘度、硫黄分等）と物性値（ハンセン溶解度指数、熱力学的指数等）で構成
- 課題Ⅰ：実際の処理原油の成分と性状は、原油成分データベースと乖離
（理由）天然物であるためロット毎に成分が異なる、油井の経年劣化による性状変化など
- 課題Ⅱ：複数原油種が混合処理される状態への適応技術（混合則の選択、改良）を要す

【技術開発コンセプト】

- リアルタイムな最適化制御等に必要成分数までランプ（複数成分を一つに括る）
- 原油成分DBの一般性状と、処理原油のトッパー入口の**一般性状（オンライン分析計開発の可能性を含む）**の差から、原油成分データベースを補正
- i) ii) をベースに、実成分推測基本基本モデルを開発し、AIを活用して成分推測精度を向上し実用モデルに仕上げる



3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

JPEC過去の技術開発・調査結果レビュー：製油所に適したオンラインアナライザー

PEC-2000T-05：生産システム高度化技術調査報告書

PEC-2001T-32：次世代石油精製技術に向けた生産システム高度化技術調査報告書

図 1.2.3 は FCC 原料分析フィールドテストを目的として製作した実験システムの概略を示したものである。装置ラック内には屈折計と密度計が各 1 台、粘度計が 2 台設置してあ

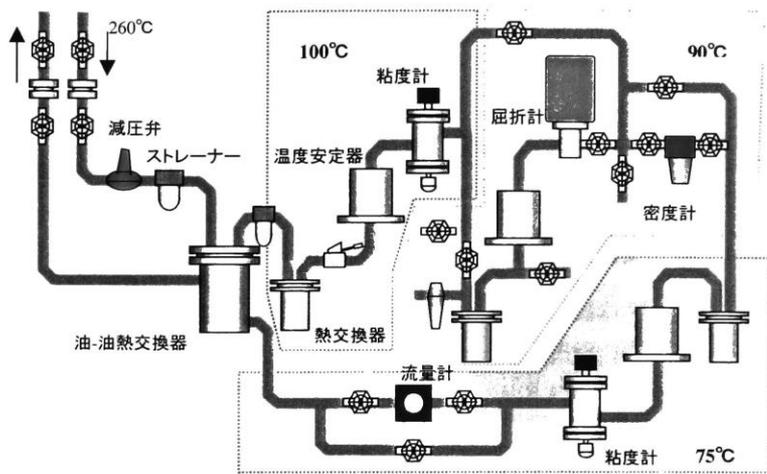


図 1.2.2 FCC 原料分析用オンライン n-d-M 環分析計システム

り、100°Cと 75°Cで測定した粘度から粘度指数（平均分子量代替値）を、90°Cで屈折率と密度の測定を行う。

高精度屈折計等を利用した石油性状の検出・制御システム研究開発
(大久保秀一他)

FCC原料のオンライン・リアルタイム分析

2. 2 研究開発の内容

2. 2. 1 常圧蒸留装置運転最適化用オンライン分析計システムの開発

原油切替時、常圧蒸留装置の運転を最適に行うため、通油原油の性状を迅速に評価する超臨界クロマトグラフ (SFC) オンライン分析計と、常圧蒸留装置プロダクト各留分の性状を迅速に評価する近赤外オンライン分析計を開発する。図 2. 2-1 にシステムの概要を示す。

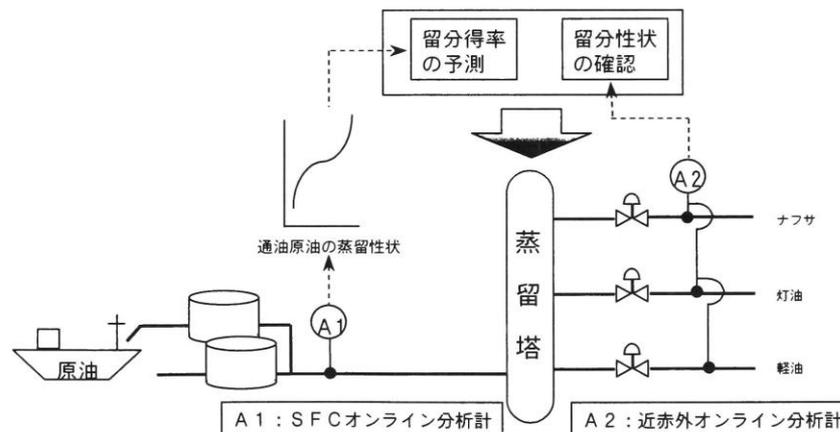


図 2. 2-1 常圧蒸留装置の運転を最適に行うためのシステムの概要

本システムを実現するため、次の要素技術を確認し、それぞれのオンライン分析計を開発する。そして最終的には2つのオンライン分析計を組み合わせたシステムを完成させ運転の最適化を実現する。

最適な生産を可能とするオンライン分析計システムの研究開発(水野重之他)

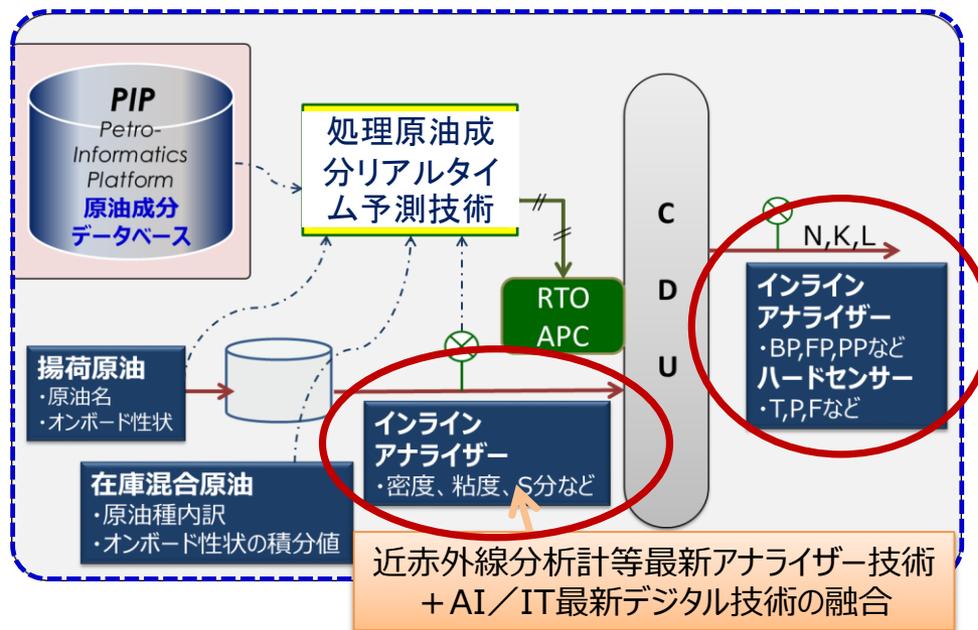
常圧蒸留装置用、製品軽油最適生産用、製品C重油最適生産用システム、など

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

「処理原油成分リアルタイム予測技術開発」に資するオンラインアナライザー

【技術開発コンセプト】

- i) リアルタイムな最適化制御等に必要成分数までランプ（複数成分を一つに括る）
- ii) 原油成分DBの一般性状と、処理原油のトッパー入口の**一般性状（オンライン分析計開発の可能性を含む）**の差から、原油成分データを補正
- iii) i) ii) をベースに、実成分推測基本基本モデルを開発し、AIを活用して成分推測精度を向上し実用モデルに仕上げる



従来技術の課題

最新技術による可能性

調査対象候補

① **不十分なデータ**
原油成分全体等必要な情報が得られなかった。

② **センサーの劣化による耐久性の無さ**
汚れ等劣化のため安定計測ができなかった。

複数アナライザーの組合せによる統合化

ビックデータ集積とAIの組合せによる予測精度向上

先進分析技術による精度×安定性向上

① PAC (USA)

② 横河電機

③ アスペンテック

④ アヴィバ株式会社

⑤ BERTHOLD Tech.

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

製油所で活用されるオンラインアナライザーラインナップ^o

	CDU	Reform -ing	FCC	Hydro cracking	Alkyl -ation	Coking
Boiling Point	○	○	○	○	○	○
Vacuum Dis.	○					
Flash Point	○		○	○		
Cloud Point	○		○			
Freeze Point	○			○		
Pour Point	○		○			
Color	○					
Density	○				○	
Viscosity	○		○			
Salt Content	○					
Moisture	○	○			○ (trace)	
Vapor Pressure		○				
Process Spectrometers	Used to predict the research octane & motor octane numbers, the cetane number and index, aromatic and olefin contents, distillation points, heat combustion, smoke point, etc.					



PAC社マイクロ蒸留性状評価装置
<https://www.paclp.com/about-pac/view>

範囲：20から450℃
 方法：ASTM D86, D7345, IP 123
 計測時間：10分以内
 再現性：±1.5℃

出典：ExpotechUSA (USA) www.expotechusa.com

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

近赤外分光分析 (NIR) – 横河電機株式会社

近赤外分光分析 (NIR) に強み!

- ・連続測定
- ・プロセス向け

オンライン分析計

アットライン分析計

ラボ用分析計

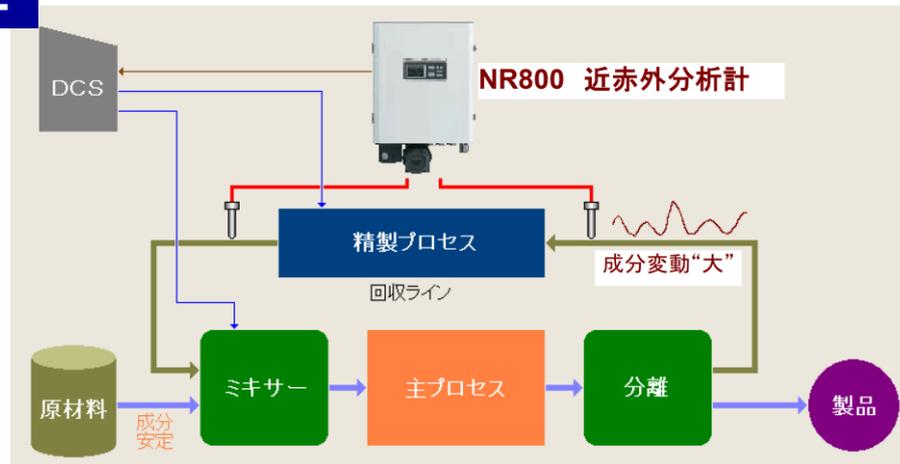
- ・ルーチン分析
- ・広範囲ユーザ
品質管理、材料管理など
オンライン化前の試験導入

- ・使用頻度低い
- ・専門家向け

Co-innovating tomorrow™

© Yokogawa Electric Corporation

YOKOGAWA ◆



多成分の高速・同時測定例

- ・10秒から1分の応答速度
- ・成分濃度の計測し、精製プロセス最適化

組成 OHV 化学 AV H2O
溶液回収精製、エステル化、微量水分

AV OHV IV H2O
薬品・食品
油脂(脱酸・水添)、原薬

組成 有機酸 DMSO NMP
液晶・半導体
洗浄、エッチング、レジスト剥離

RON MON DIST Bz
石油精製
ブレンド制御、改質最適化

NR510
(path length=1-20mm)

For liquid

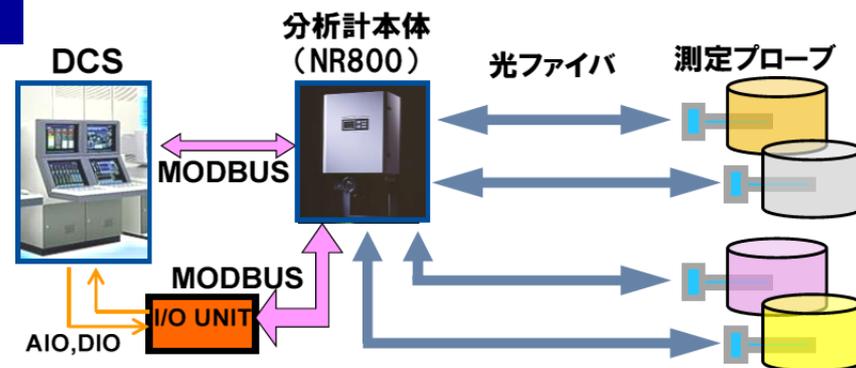
NR510 Special
(path length=119mm)

For gas

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

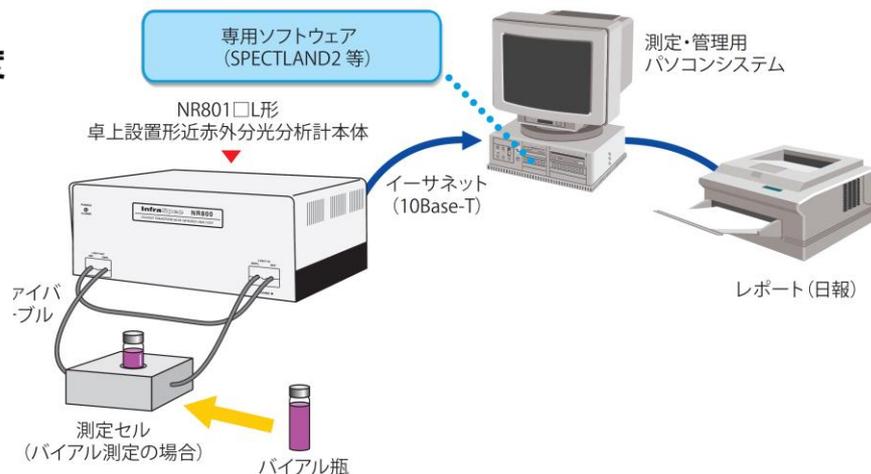
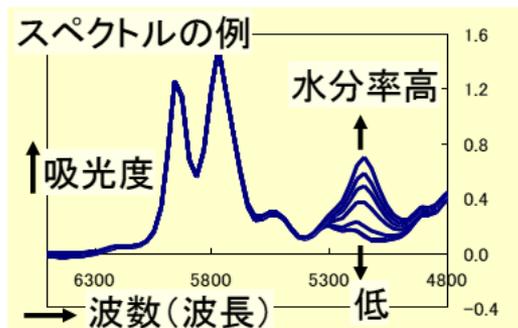
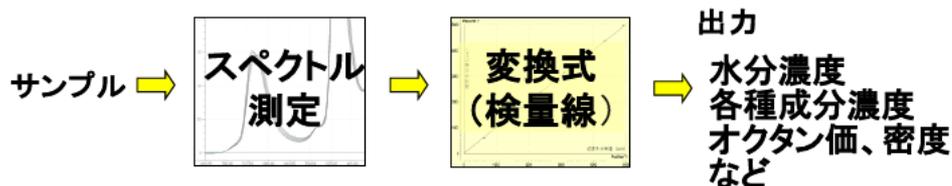
近赤外分光分析 (NIR) – 横河電機株式会社

	中赤外	近赤外
吸収	強い	弱い (1/100 - 1/1000)
スペクトル	シャープ、固有	ブロード、多様
パス長	気体:1mm ~ 液体:0.01mm ~	気体:10cm ~ 液体:1mm ~ 10mm
光ファイバ	不可	可
定量	ピーク面積	多変量解析 (ケモメトリクス)



光ファイバによるリモート測定

光ファイバーによりセンサー部を危険場所（高温・高圧）に配置し、計測本体や解析部は非危険場所で行う等が容易に実現できる。

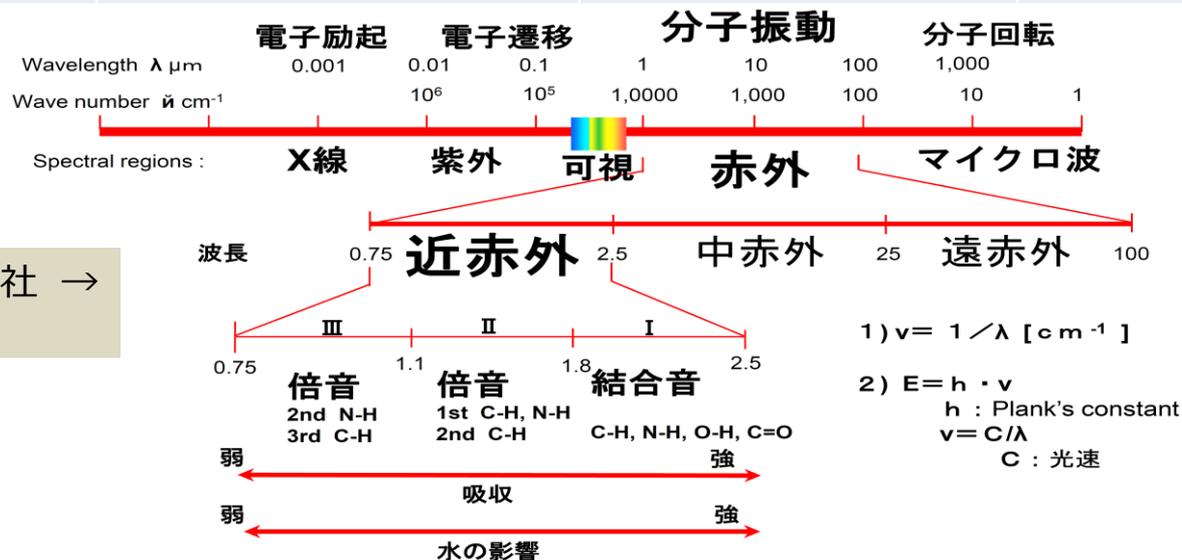


同じセンサーを用いた卓上型もラインナップ

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

近赤外分光分析 (NIR) – 入手可能な近赤外搭載分析計取扱いメーカー

メーカー	島津製作所	日揮エネルギー Guided Wave	ブルカー・ジャパン	横河電機
装置名	IRTracer-100 NIR	NIR-O Lab NIR-O	Matrix-F	NR805 (防爆型) NR801 (卓上型)
仕様	FT-NIR ラボ仕様	回折格子 プロセス仕様	FT-NIR プロセス仕様	FT-NIR プロセス仕様
特徴	近赤外から中赤外領域	NISTトレーサブル デュアルビーム(安定)	ATEX防爆対応、日本の防爆には非対応	NR805は標準で防爆 プラント用
ホームページ	https://www.an.shimadzu.co.jp/ftir/nir.htm	https://www.nipponenergy.co.jp/products/oil/analyzer/model412/	www.bruker.com/optics	https://www.yokogawa.co.jp/solutions/products-platforms/



出典：横河電機株式会社 → 技術資料より

3. 製油所現場データを利用するためのオンライン分析の現状

アヴィバ株式会社 RTC (Real Time Crude)



UAE-ADNOC本社のデータセンター

アヴィバ(AVEVA)

英国ケンブリッジに本社、多国籍ソフトベンダー

世界40カ国以上、80カ所の拠点

2018年3月 Schneider Electric社のソフトウェア事業と合併

デジタルツインを活用してデジタルプラント実現

- ・ 石油精製/石油化学向け統合ツール： Spiral Suite
原油アッセイから生産計画策定までを統合したサプライチェーンツール
- ・ 原油アッセイ作成の新規技術 – **RTC (Real Time Crude)** 2020年8月のAFPMで発表
Schneider Electric社のIR分析技術の活用
IRスペクトルによる原油性状予測モデル – 統計解析による性状相関 – 原油アッセイの作成

4. まとめ

既存の石油精製装置と石化製造装置を最大限に活用し、高効率なケミカル・シフトを狙うため、

- ① 詳細な原油成分情報（ペトロリオミクス技術）を踏まえつつ、製油所の入口から出口までの製油所全体最適化を目標とした動的な高度制御技術に資する調査、
 - ② 製油所の現場データ類を利用したリアルタイム成分分析・推測技術に資する、新規開発を含むオンライン分析計などの計測・解析技術の動向調査、
- を実施した。

ポイント、着眼点

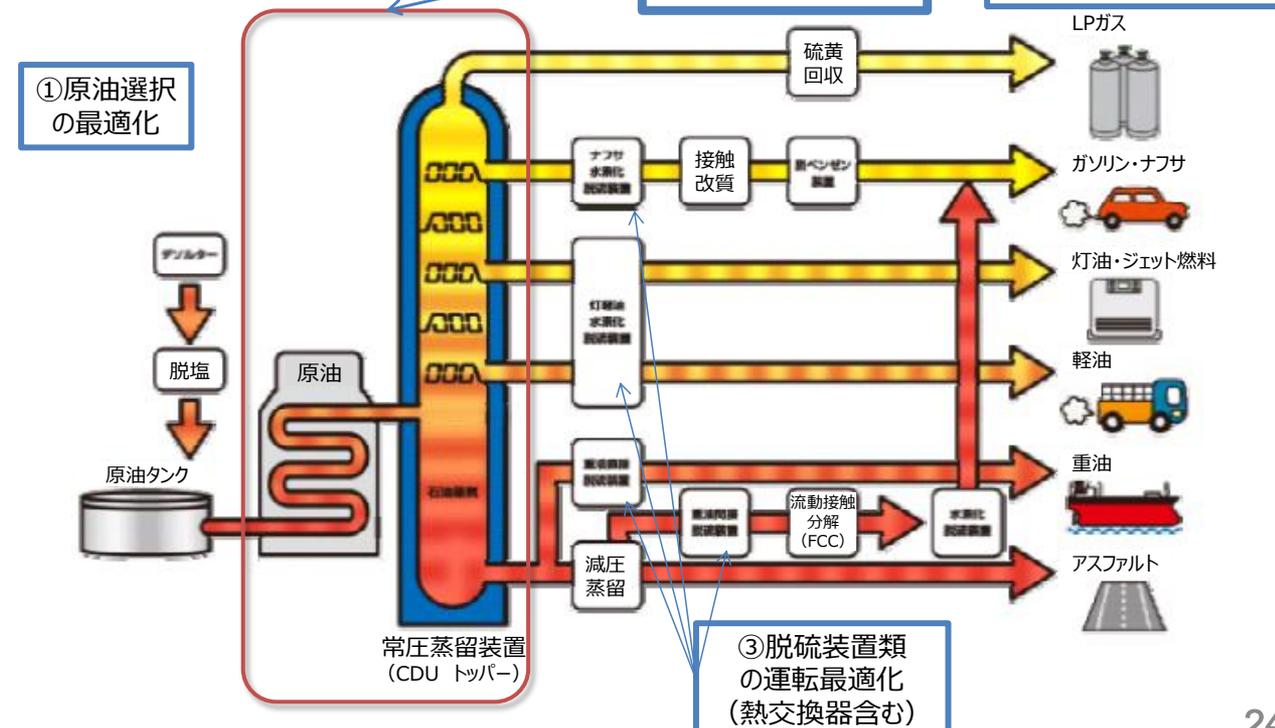
- 石油成分情報のデジタル化
- 膨大な蓄積データ
- AI/IT活用によるDX化

期待される展開

- これらに融合的活用による高効率運転を可能とする次世代製油所への取組
- 製油所操業によるCO2排出量の大幅削減

国内製油所のCO₂排出量（3,700万トン/年）

2018年度実績、出典）石油連盟、低炭素社会実行計画
参考値）石油（燃料油）需要量：168百万KL
製油所エネルギー消費量：15,181千KL



本調査は経済産業省・資源エネルギー庁の
「令和2年度燃料安定供給政策に関する調査事業
(石油産業に係る環境規制等に関する調査)」

及び

「令和2年度燃料安定供給対策に関する調査事業
(製油所の競争力に係る技術動向に関する調査)」

として JPEC が実施しています。
ここに記して、謝意を表します。