

2020年度 JPECフォーラム

製油所全体DX化の概念設計と 構築手順に関する調査

2020年5月8日

一般財団法人石油エネルギー技術センター
技術企画部

(外注先) A. T. カーニー株式会社

経済産業省から委託された「令和元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）」における「デジタル技術の活用をベースとするスマート・リファイナリー構築に関する技術動向調査」の一環として、
『製油所全体DX化の概念設計と構築手順』に関して調査、検討した。

尚、本調査・検討は、公募により4社から応札があったが、当センターによる総合評価により選定されたA. T. カーニー株式会社と当センターと一緒に実施し、まとめたものである。

2. 調査結果 【検討の背景、目的】

背景

- 日本の石油の供給を担う民間企業は、国内の石油需要減少、産地の多様化・変化による原油の組成変化への対応、熟練技術者の高齢化など多様な課題が立ちはだかる中、安定供給を将来にわたり確保していくとの大前提の維持が困難となっていく可能性をはらむ
- 困難を乗り越えていくためには、国内外の市場で競合する他国企業・製品との比較において日本企業・製品の国際競争力を高めるべく、経営基盤を強化していくことが求められる
- 経営基盤の強化に向けて、様々な経営的・技術的なチャレンジを乗り越えていく必要があるが、中でもデジタル技術の活用（とりわけ、DX: デジタルトランスフォーメーション）は、昨今の技術進展・足元の取組の不十分さも踏まえれば、重要な要素となる可能性が高い
- 他方で、デジタル技術の活用は業務・製造工程の標準化が大前提となるため、トップダウン・プロセス横断的な取り組みが必要となる。従来から日本の製油所が強みとしてきた、現場の個々の技術者の工夫、いわば「個別最適の積み重ね」の強みを生かしつつも、デジタル技術の適用のため、業界横断の取組も組み合わせるなど、今後は考え方を変えていく必要がある

目的

- 本調査はこのような背景を踏まえ、
 - デジタル化／DX実現した製油所がどのようなものとなるかを、海外の事例等を紐解きながら明らかにするとともに
 - DXを実現していくために必要となる業界横断での取り組み／個社固有に必要な取組を整理したうえで
 - また、実現に向けたロードマップを描き出し、足元、実現に向けて必要な取り組みを提言するものである

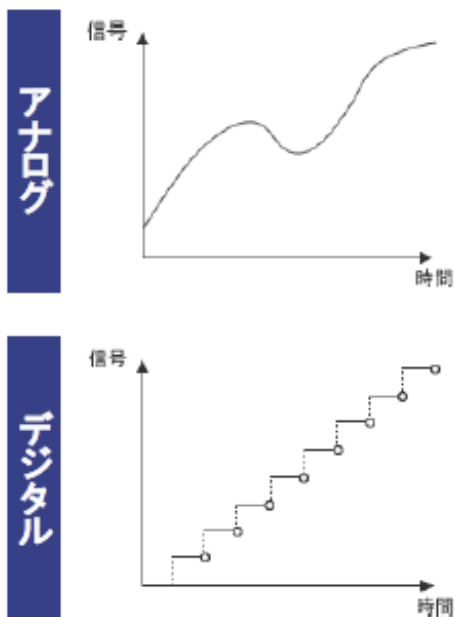
《参考》【デジタル活用の定義】

もともとはデータ方式を表す言葉である「デジタル」であるが、ここでは、既存のデータを特定の目的に活用していく取組を「デジタル活用」とする

デジタル活用とは

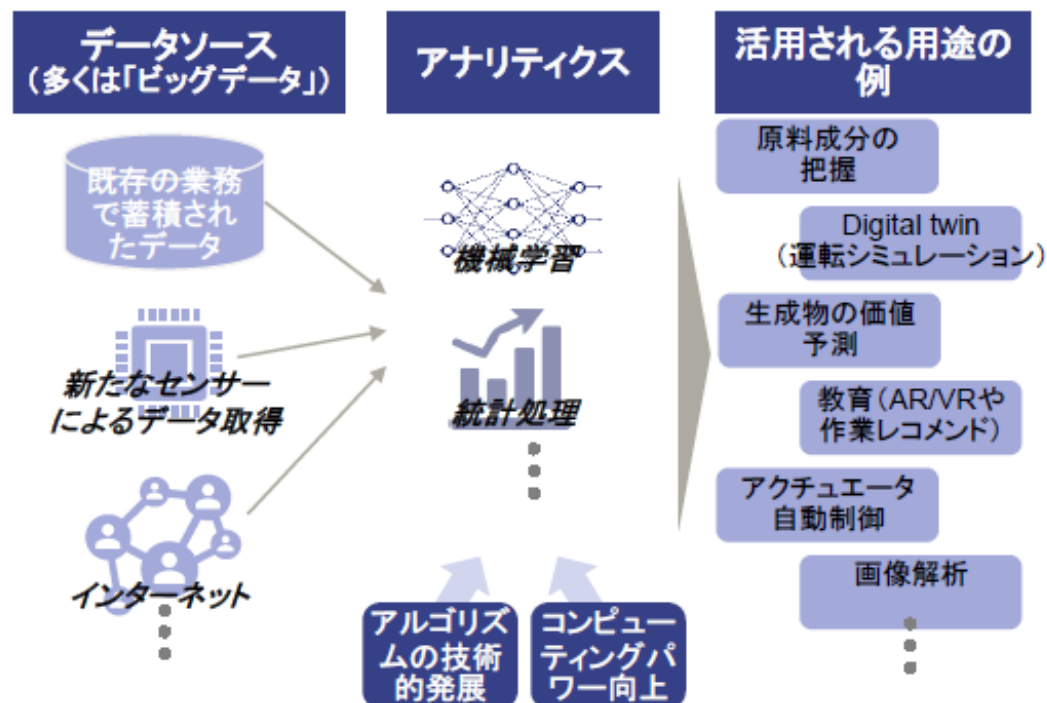
元来の「デジタル」

- 状態を示す量を離散化して処理(取得、蓄積、加工、伝送など)を行う方式(Wikipedia)



デジタル活用

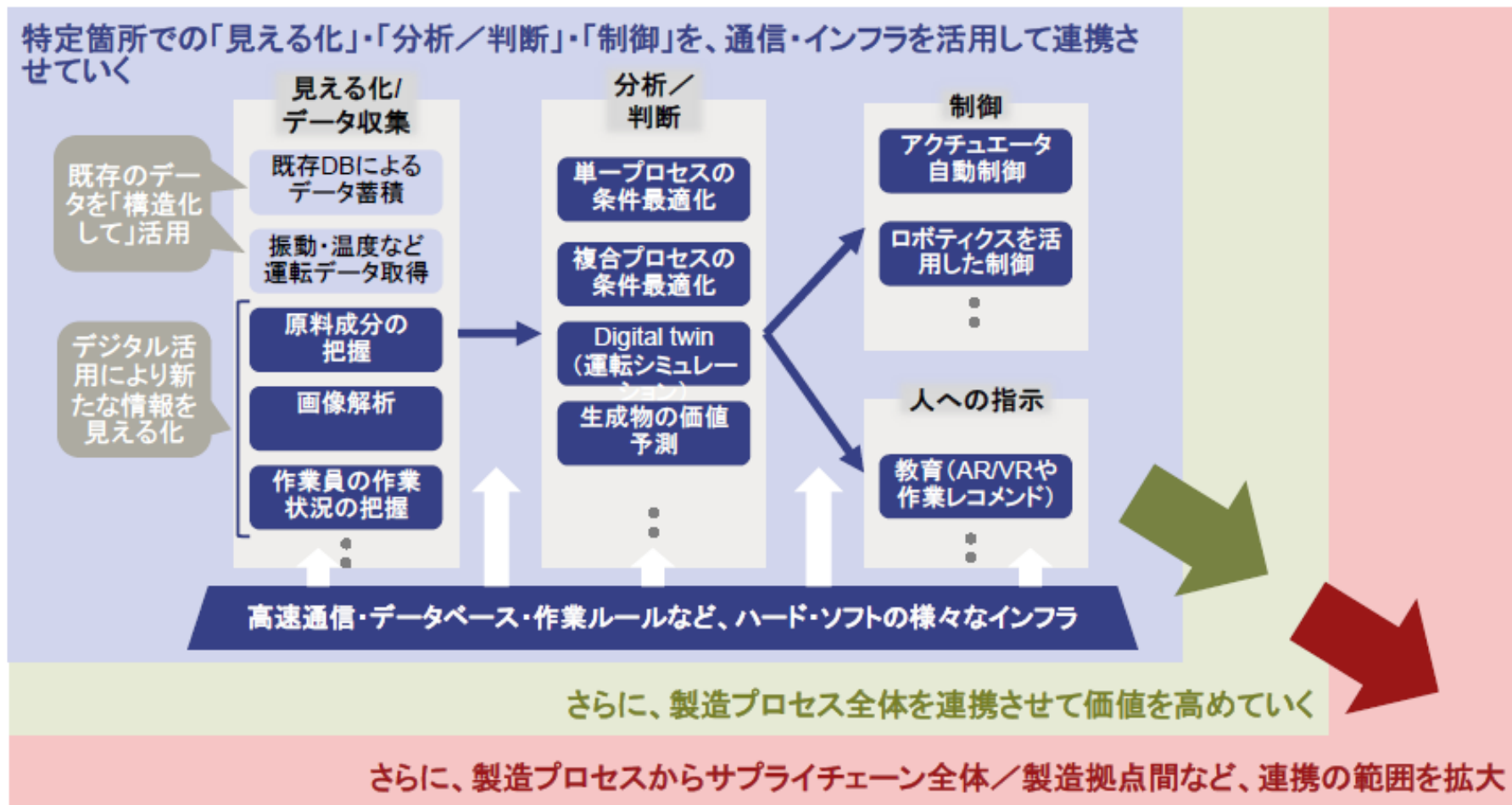
- 蓄積された多量のデータを、アナリティクス(とりわけ機械学習)の力を使い、経営への効果発揮を目指して活用する取り組み



《参考》【DXの定義】

デジタルトランスフォーメーション(DX)は、それら「デジタル活用」を様々な連携させて、経営に効果を生み出すものと本資料においては定義する

デジタルトランスフォーメーション(DX)とは



2. 調査結果 【国内製油所DXの課題】

しかしながら、国内製油所ではデータ活用ができず「デジタル以前」でとまりがちで、デジタル活用されている少数のケースも「連携」には至らない

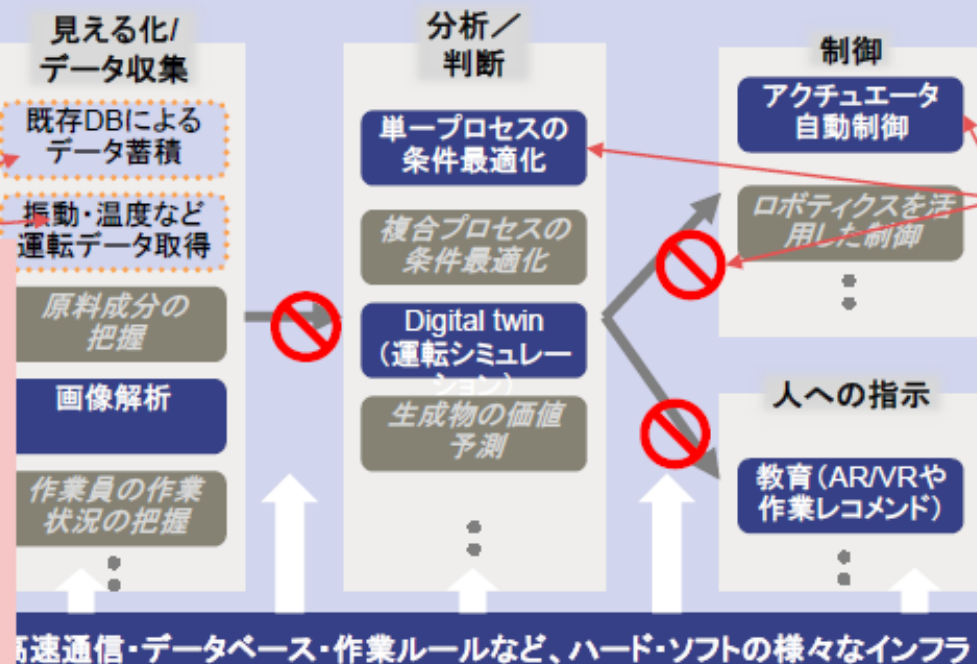
国内製油所におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)の課題

「見える化」・「分析／判断」・「制御」を、通信・インフラを活用して連携できていない

課題①

データは「ただ集められているだけ」で、価値を生むための構造化がなされていない

- データは収集する時点で「どのような価値を出すか」の仮説を持っていないければ、効率的なデータ収集・分析はできない
- したがって、デジタルの設計なく集めただけのデータは、「ゴミの山」となりうる



課題②

取組は断片的で、断片的であるがゆえに相互に連携して価値を出すに至っていない

- 見える化～制御に至り連携し、人の仕事を代替/サポートする・高度化するように初めて価値がでるものが、連携できていない

さらに、製造プロセス全体に渡っての連携や、製造プロセスを超えた連携には遠く及ばない

さらに、製造プロセスからサプライチェーン全体／製造拠点間など、連携の範囲を拡大

2. 調査結果 【国内製油所の課題】

製油所ではシミュレーターを活用して最適運転を目指す、「ベテランの勘と経験」に依存する部分も多くあり、データ未活用ゆえの非効率が残る

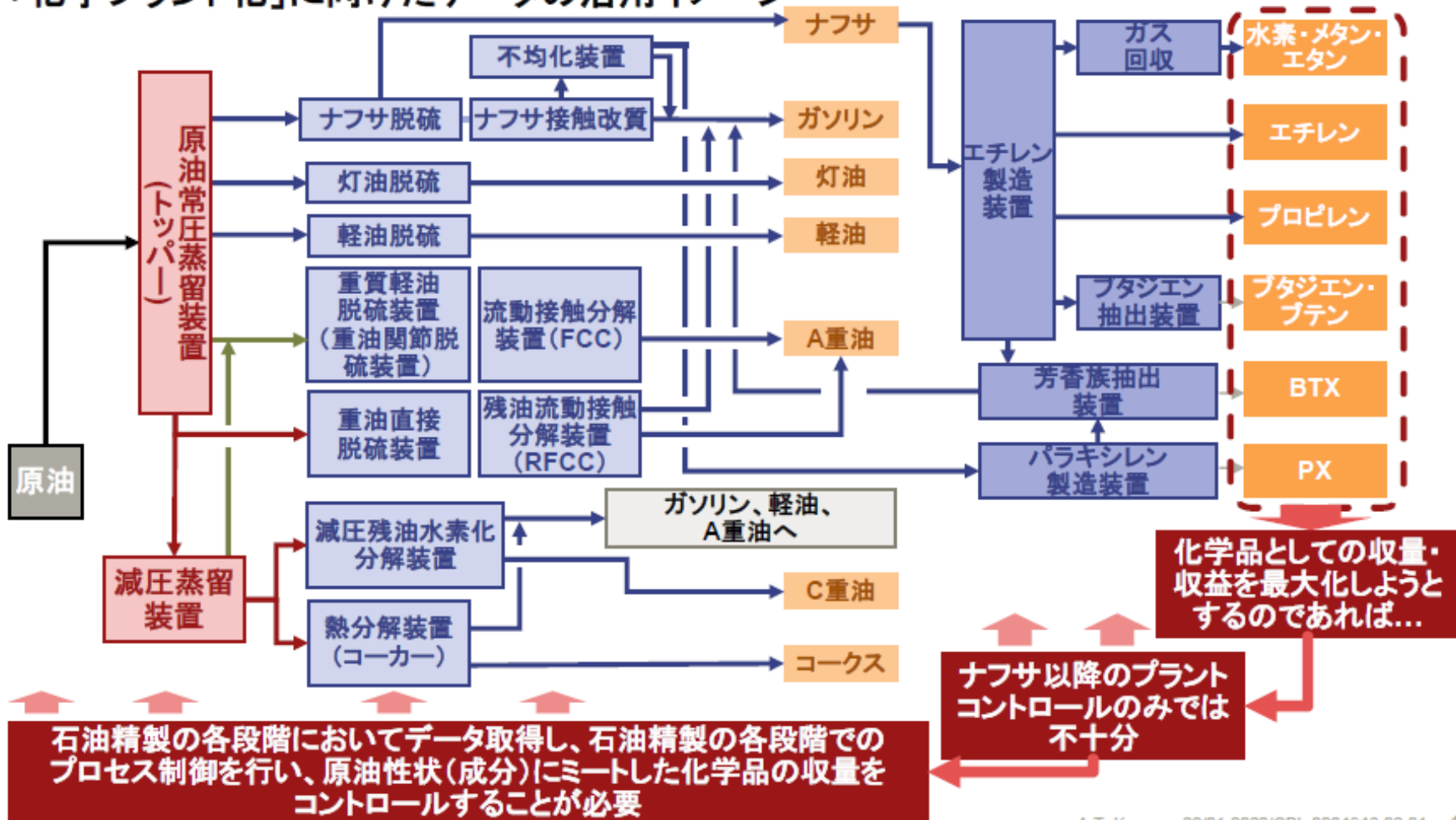
生産プロセス上において 解くべき問題の例	従来の解決方法	DXしないがゆえに残る非効率性
原油の切り替え時、 生産の不安定性(変動) の抑制が必要	多くの製油所では、「異常を示さない」運転は厳しく追求するが、「 <u>最適な運転</u> 」かどうか(収率最大化等)は、 <u>RTO¹とAPC²に頼る</u> 。しかし、 <u>RTOのインプットデータ不備等の問題が残る</u> 、 <u>APCは予測モデルの信頼性不足</u> で、それぞれオフラインにされることが少なくない。 <u>最終的には熟練者の経験にゆだねられる</u> 。	・「前回と同様」とみなした運転条件であっても、原油性状をはじめとして、様々なパラメータが前回と完全に同一にはなっていない ・これら諸々のパラメータが運転に及ぼす影響が紐付けていないため、初期値は「前回同様」であっても、同一の結果を示すことは少なく、時間をかけて熟練の運転員が試行錯誤しつつ合わせこむといったことが起こりがち ・これら時間の非最適な運転は製油所トータルの運転時間に占める割合は無視できない
重質油の処理プロセス やFCC/ RFCCプロセス (上下流)の運転最適化		
市況を踏まえた、 基材ブレンド最適化や、 石油化学生産の最大化	生産計画(LP、スケジューラー)、装置稼働調整(RTO/APC)、基材ブレンド(ブレンドシミュレーター)が個別に機能し <u>全体最適とはなっていない</u> 。	・シミュレーターの結果や各装置の運転状況を統合的に見極め、性状に合わせた運転の対応を進めるが、重質留分の追跡(特にアロマ留分の生成量など)については、精度が極端に落ちる(または分析ができない)

これらプロセスにおいて、デジタルテクノロジーを活用し、効率化を図っていくことで、大きな効率化の達成が実現できる可能性が高い(DX実現した姿については後述)

2. 調査結果 【製油所の化学プラント化の課題】

また、今後の石油需要の減少局面において求められる「化学プラント化」を見据えた場合においても、DXレベルの不足は大きな課題

「化学プラント化」に向けたデータの活用イメージ

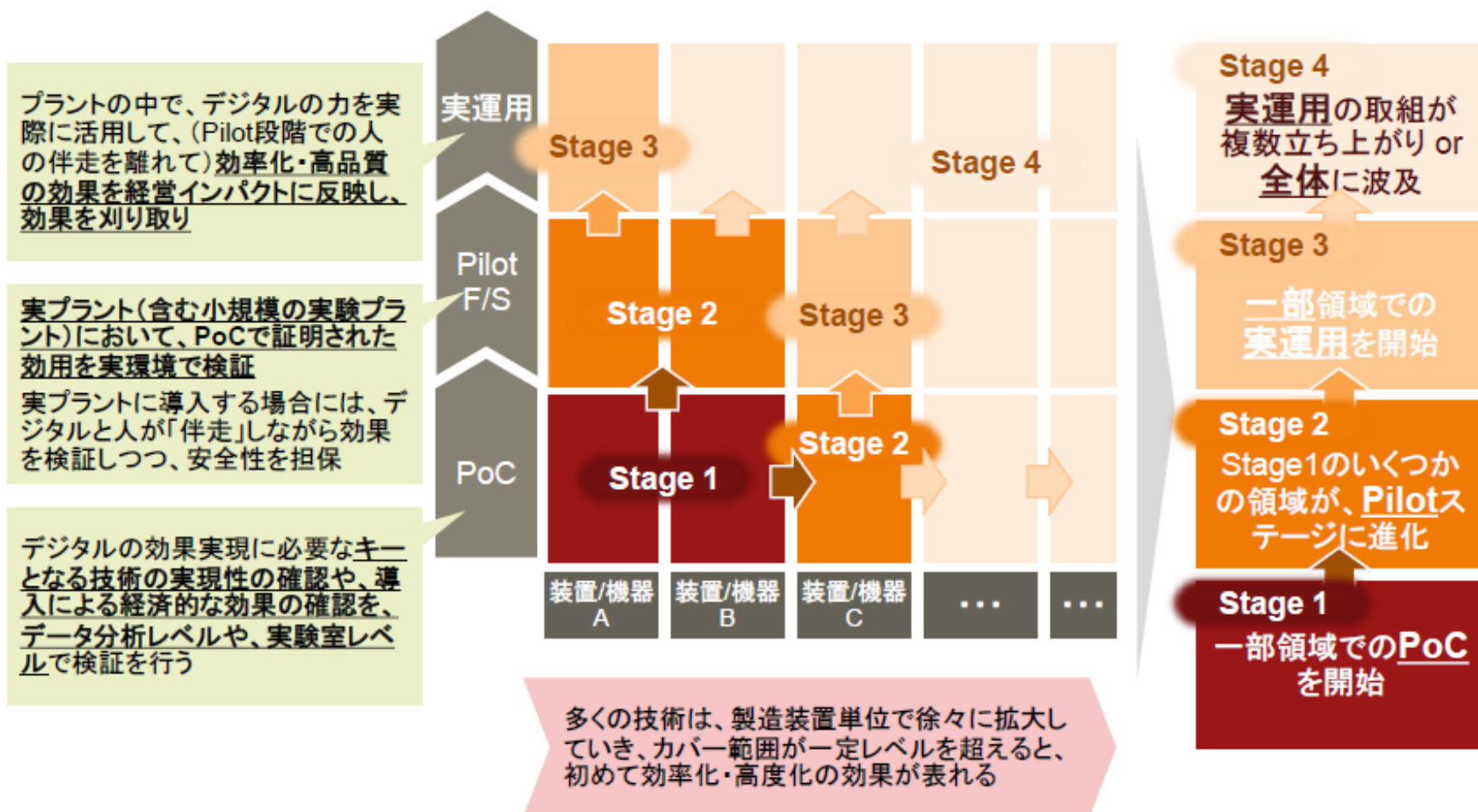


《参考》【DXに向けたステージの定義】

デジタルトランスフォーメーションは、PoCやPilotのフェーズを経て実現される(多くの企業は実運用に至らず、PilotやPoCにとどまる)

デジタルトランスフォーメーションに向けたレベルアップのステージ

ステージの定義



2. 調査結果 【先進企業のDX状況】

グローバル先進企業であっても、オペレーションは進捗が遅れている

グローバル企業のステージ(主要企業抜粋: 詳細後述)



オペレーションの実運用レベルでのDXは「空白地帯」となっている

- 石油精製・化学品における、DXはメンテナンス領域と比べて難易度が高い
 - 原油成分の変動の影響、機器の不調・不具合、天気・気温などの外乱の影響を受けやすく、それらの因子も説明変数として読み込めば、目的変数の組み合わせ数は膨大となる
 - また、そもそも原油成分や重質油処理プロセスの出口成分は不明なためインプットして活用できていない。
(従い、ペトロリオミクスの解析が実用化していくことでアドバンテージとなる可能性がある)
 - また、目的変数側を見ても、化学品の収率なども含めた最適効率で運転されているかについては、そもそも評価がされていないことが多く、「最適」を追求する材料が不足する
 - 石油精製が巨大な連続プロセスであることが、上記の把握を一層難しくさせている

これらオペレーションの高度化を、グローバルに先駆け実現することができれば、競争優位となる可能性がある

2. 調査結果【国内外企業の取組み状況】

一部の先進プレイヤーはメンテナンスとオペレーションの高度化に統合的に取り組み始めている

石油精製・化学プレイヤーのテクノロジー導入状況

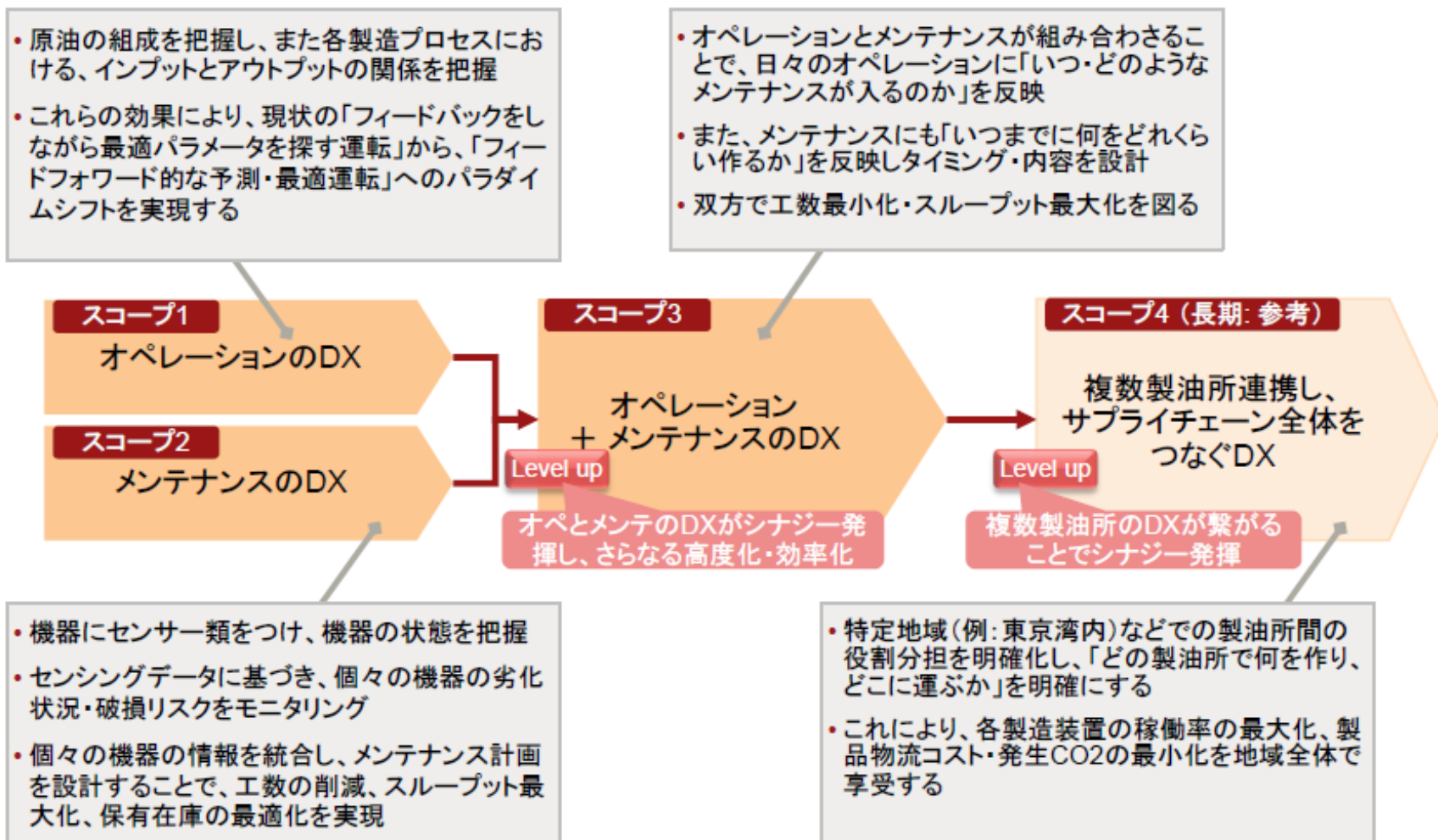
		メンテナンス				オペレーション				導入状況
		Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	
海外	Shell									・C3 IoT Platformを全世界で導入し、AIを用いて予兆管理やオペレーション最適化を実現する構想を発表 ・中国国内の6つのリファイナリでパイロットを行い、メンテナンス&オペレーションの効率化を実現している ・GEのAPMを導入し、予兆管理によるダウンタイムの削減を実現 ・全製油所のメンテナンス情報をクラウドで管理し、予兆管理を行っている ・予兆管理を行い、パフォーマンスの最適化を実現 ・Onsan refineryにてDCSをユニット全体で制御することでメンテナンス効率を高め、結果生産性を向上 ・各種センサからの情報を元にした予兆管理を実施、生産計画との連動についても構想。その他、ユーティリティの需要予測/最適化を実用化 ・HARTテクノロジーによりプラント内の予兆管理を実施
	Sinopec									
	BP									
	Chevron									
	Exxon									
	S-Oil									
	BASF									
	Dow									
国内	三菱ケミカル					実運用の範囲を広げ、Stage4に向け拡大中				・センシング技術を活用した不具合の予兆診断を複数のモデルプラントで試験中2025年度までに全プラントに導入予定 ・ビッグデータ解析を活用した設備異常検知を試験中 ・AIを活用したガス組成予測(品質予測)の要素技術を実験中 ・北海道製油所で実証実験を行い、配管における腐食の進行度合いをデータ主導型で解析、評価する仕組みを構築 ・川崎製油所・水島製油所などでボイラー運転の自動保安を行う ・Preferred Networksとプラントの最適化・自動化に関する共同研究を開始
	三井化学									
	出光									
	JXTG									

Source: 各種公開情報、エキスパートインタビュー、A.T. Kearney

A. J. DENTLEY 44/U 1-2020/CPL 0004840.02.01 10

2. 調査結果 【DXのスコープ設計】

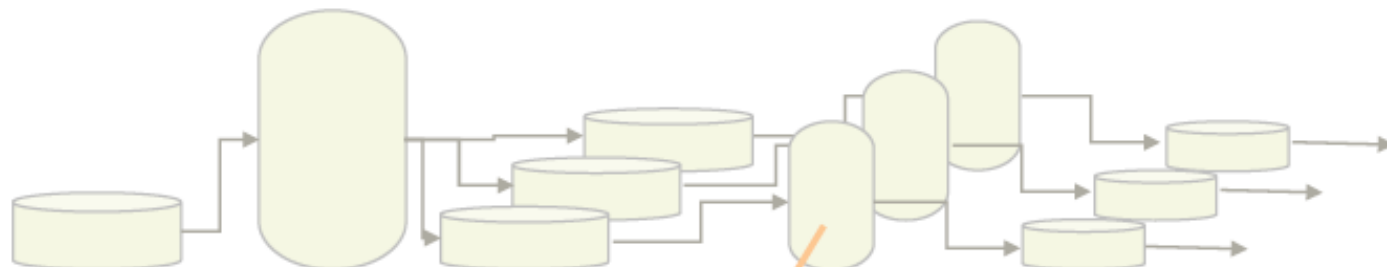
まずは単一製油所でのオペレーションDXとメンテナンスのDXをそれぞれ進め、その後双方を統合しシナジーの発揮・獲得を目指す想定



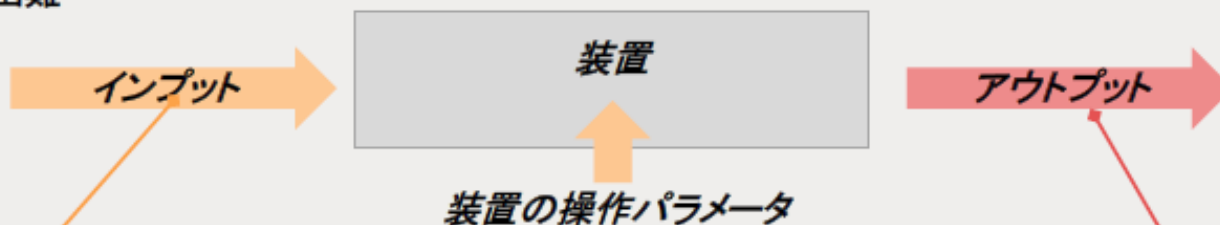
2. 調査結果 【リアルタイム制御の課題】

製油所単体DXは、各プロセスでの「条件ごとの最適な操作パラメータ」は決まるが、パラメータ操作を行うのに必要な「条件の予測」が困難

単一の装置単体で最適な操作を行おうとした場合の課題



リアルタイムのパラメータ変化を踏まえ、将来のアウトプットを最適化するように運転をコントロールすることが困難



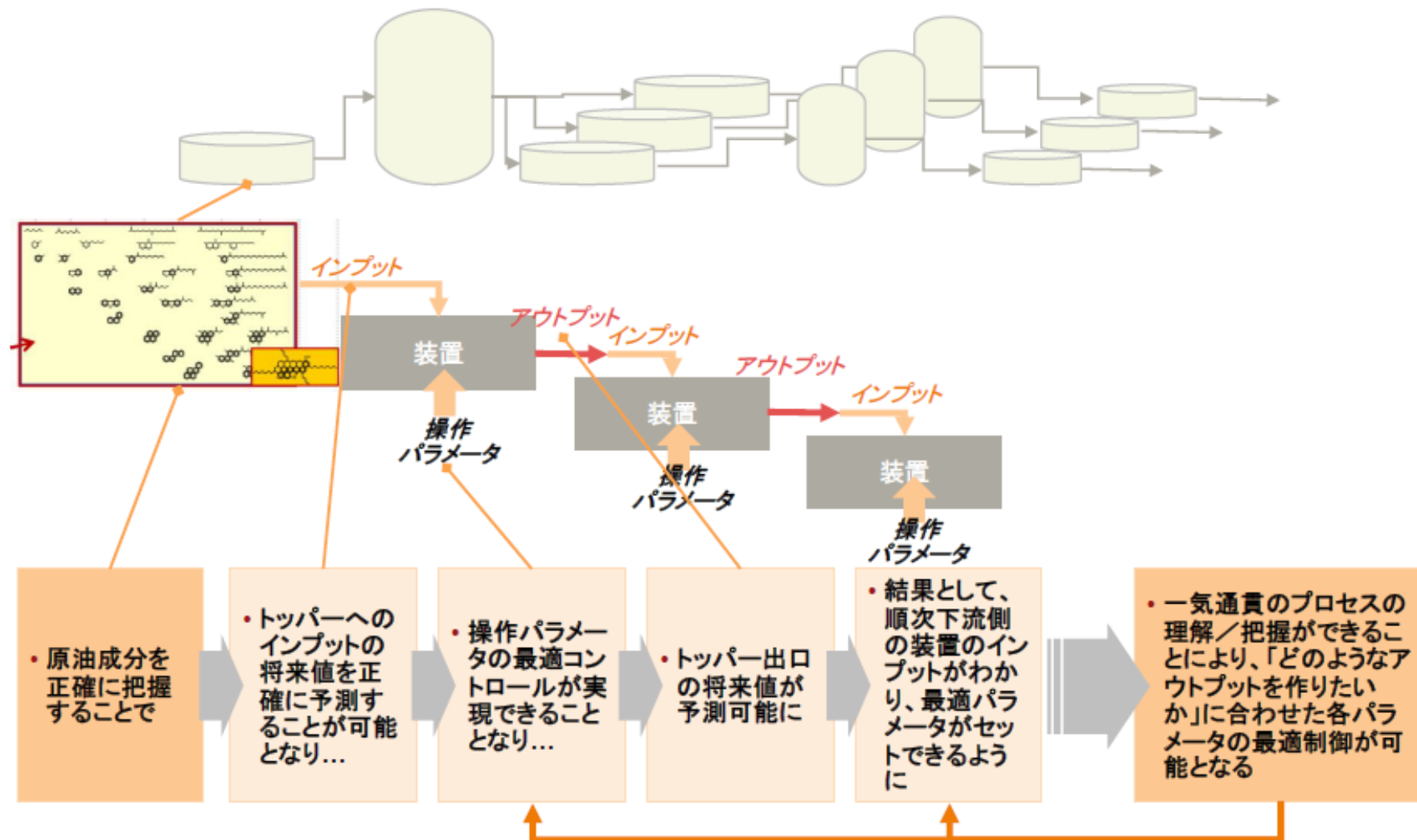
・「将来の値」がわからない／「今現在の値」も断片的
 - 現在値を1分間隔or 30分間隔などでの把握

・最適なアウトプットのためには、「将来のインプット」(少なくとも「今現在のインプット値」)を見据えた操作が必要
 - 装置内の環境安定／アウトプット環境生成には一定時間が必要な要素も多い

・運転に必要な粒度・時間軸の情報が得られず、将来の最適なアウトプットを計画できない

2. 調査結果 【課題解決の方向性】

原油性状を正確に知り、各プロセスの出口からいつ、どのような出力がなされるかを順次予測することで前述の課題を回避する

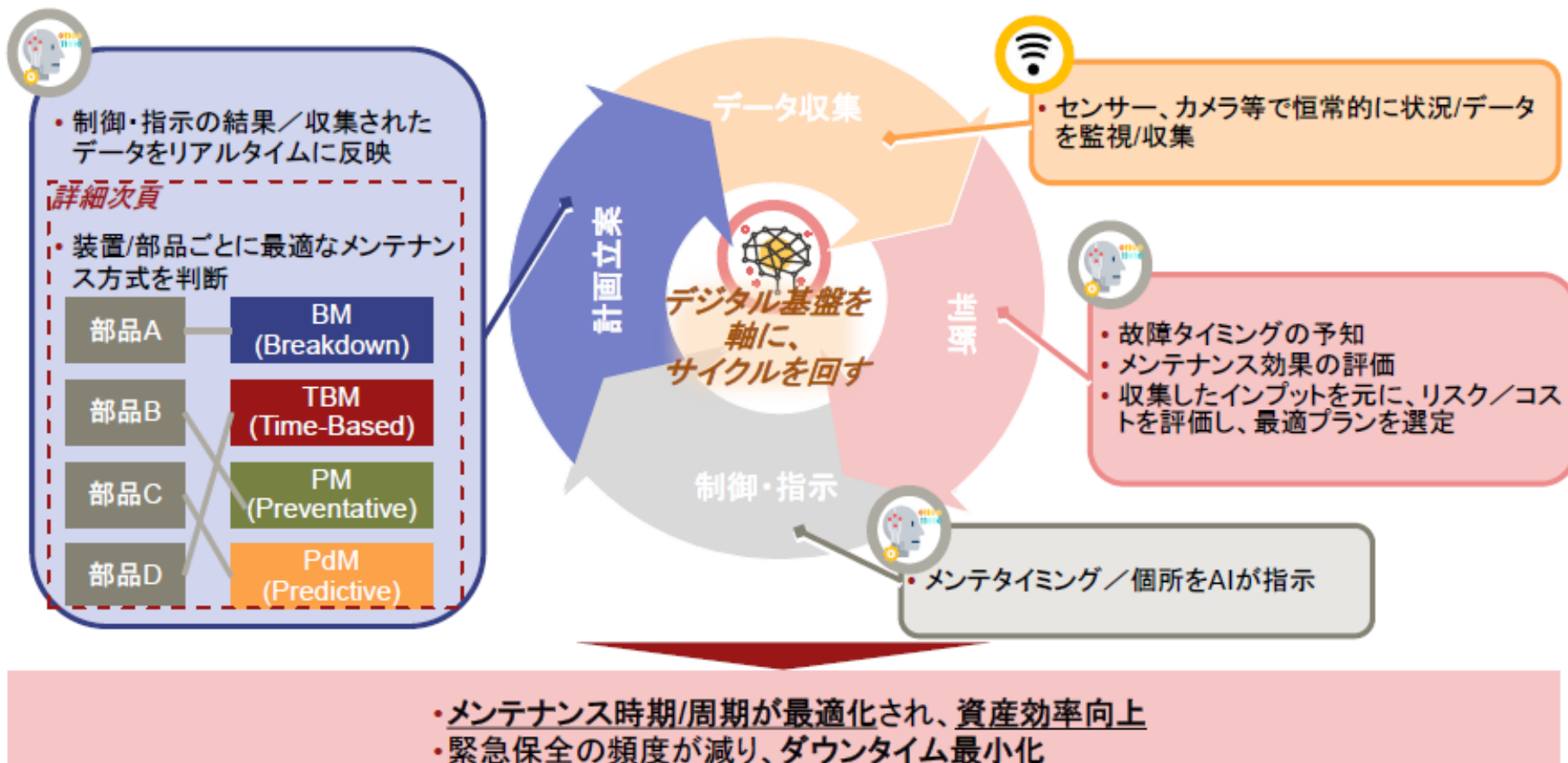


2. 調査結果 【メンテナンスDXの期待】

メンテナンスのDXにより、メンテナンス時期/周期を最適化することで、資産効率の向上、ダウンタイムの最小化が期待できる

DX後のメンテナンス

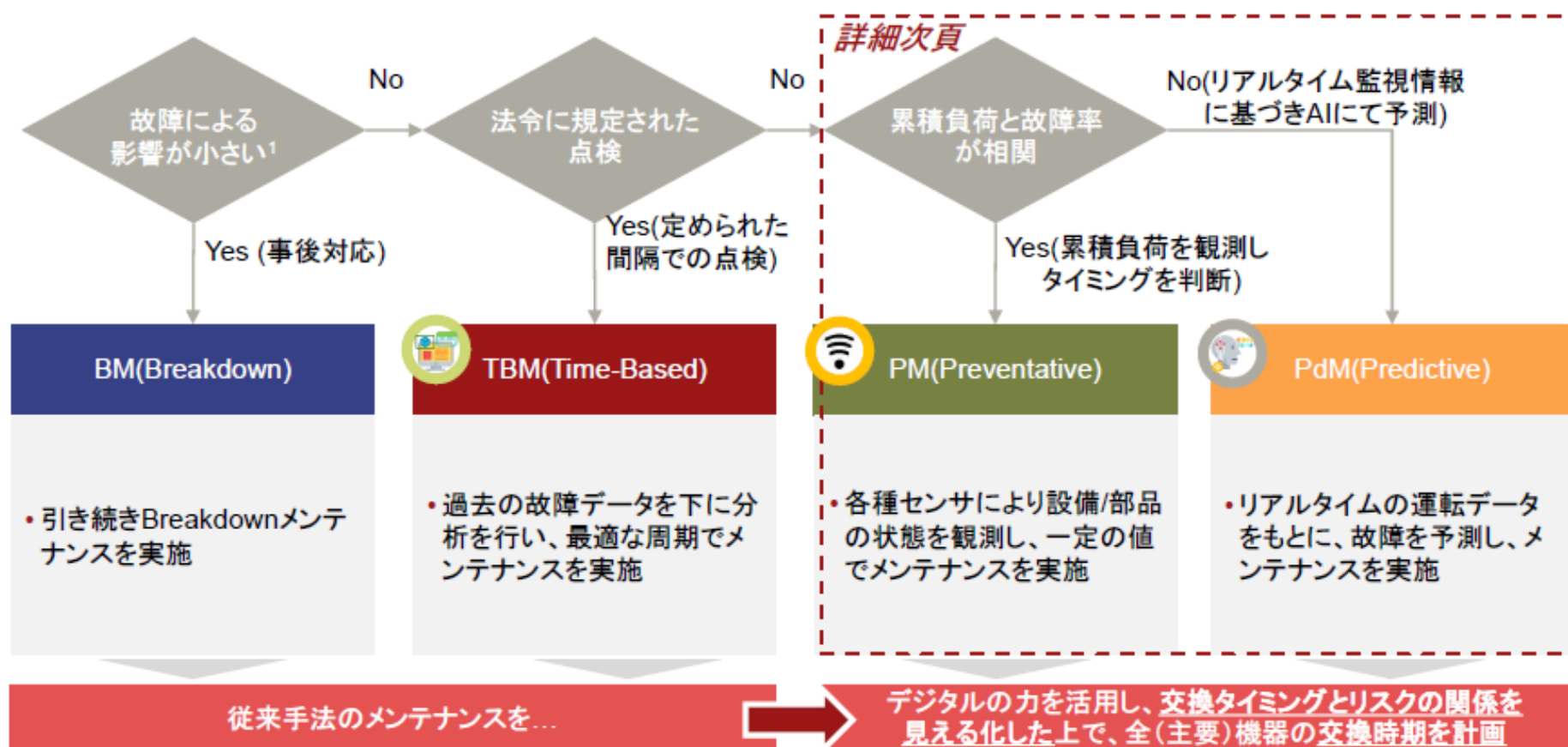
Illustrative



2. 調査結果 【最適メンテナンス方式】

故障の影響度合い、法令の規定、過去の故障パターンにより、DXにより可能になるPM/PdMを含めた最適なメンテナンス方式を選択

メンテナンス方式の選定方法

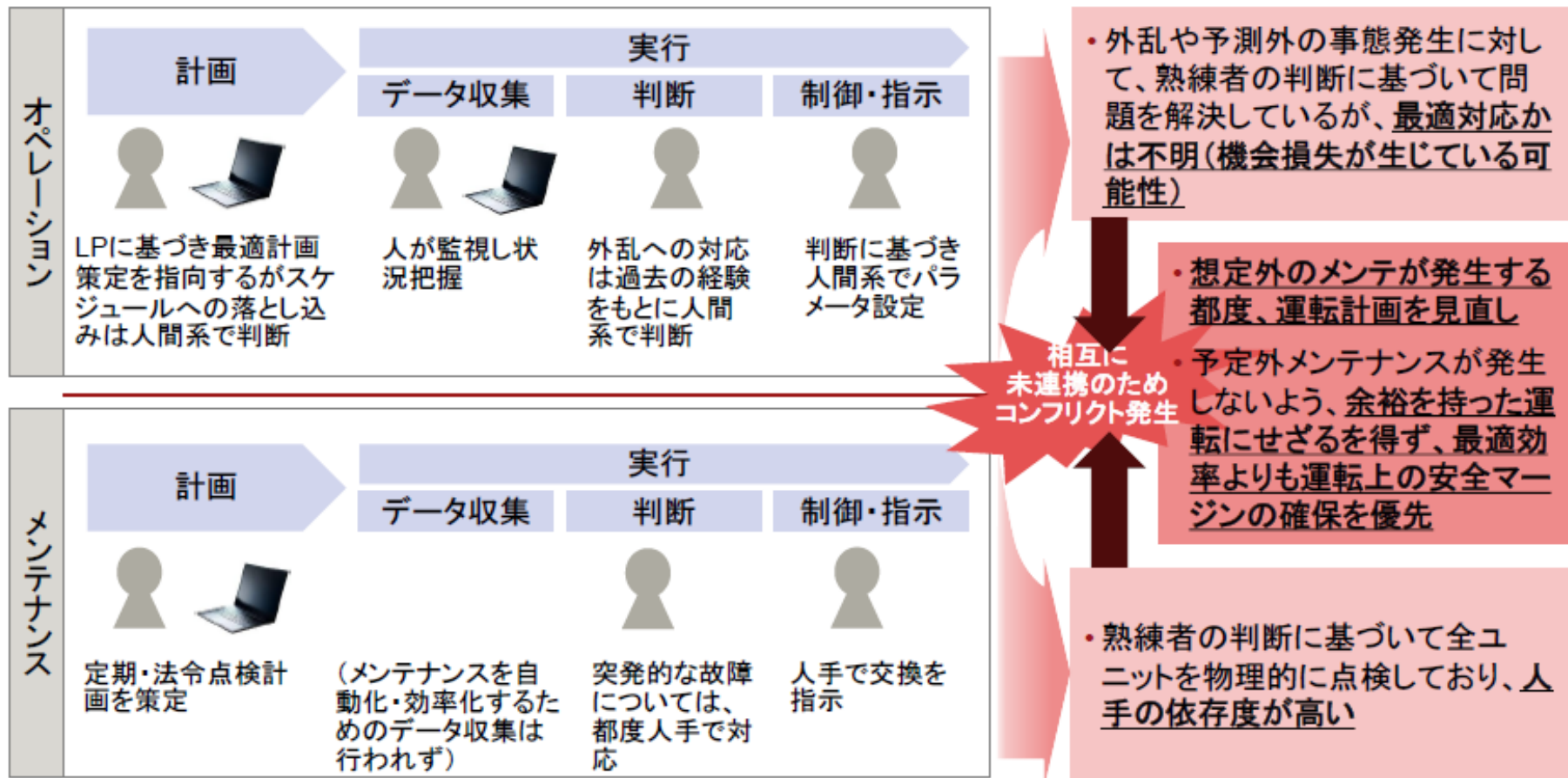


2. 調査結果 【オペ、メンテの現状】

現状は熟練者に依存したオペレーション、メンテナンスが行われている
最適に対応されているかどうかは不透明

現状のオペレーションおよびメンテナンス

Illustrative



2. 調査結果 【DX後の製油所イメージ】

これらを通じ、質・量十分なデータを集め、連携し、リアルタイムに判断していくことで、「人間系の暗黙知」を、「デジタル系の形式知」に変えていく

足元起きていること

- ・そもそものデータ不足・データの連携不足のため、リアルタイムでの最適化が困難
- ・局所的な情報を「人間系」で補い・つなぎ合わせることで補完

DX後の世界

- ・多数のセンサで「意味ある情報収集」を行い、連携しメンテ・オペレーションの計画立案
- ・外乱／突発事項の際もリアルタイムに更新

- 例1**
- ・LPの入力値は「立案時点の前提」であって、実際には、原油性状変化や製品出荷量は前提通りとなっておらず、製油所操業の全体最適は「見なし」にすぎない
 - ・LPからスケジューラに落とし込む段階で、さらに最適性は損なわれる

- ・前提条件からの乖離をリアルタイムに捕捉し、乖離が一定範囲を越えれば随時LP再計算を実施している
- ・スケジューラーの日々値の期間合計とLP最適解との乖離が最小になるよう調整され、LP再計算時でもそうになっている

- 例2**
- ・原油は天然物であり複数の生産井の出油を混合しているため、入荷ごとに性状は異なるが、RTOにその情報は反映されず、実行時は人間系で補完する
 - ・触媒活性の想定外の変化、プロセス内の汚れ・詰まりによるプロセス変動などはAPCの予測モデルに反映されず、最終的には人間系で後追い対応する

- ・トッパー入口性状のオンライン測定値等をパラメーターとして原油成分データベース値を補正し、RTOにリアルタイムに入力している
- ・ペトロリオミクス技術とAIの活用により、予測モデルの信頼性が格段に向上している

- 例3**
- ・重要機器の故障予兆、突発故障に際し当該装置および関連装置の稼働調整、製品出荷調整はタンク在庫を緩衝材とする量的バランスで対応し、最適性は考慮されない
 - ・SDMを数か月後に控えた段階での機器の不調時の対応判断等も人間系で行い、製油所操業の最適性は考慮されない

- ・例1と同様にLP再計算とスケジューラーへの落とし込みを自動的に随時おこなっている

3. 検討結果 【オペとメンテ統合DX】

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が相互に関連

Illustrative

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



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)

- ・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

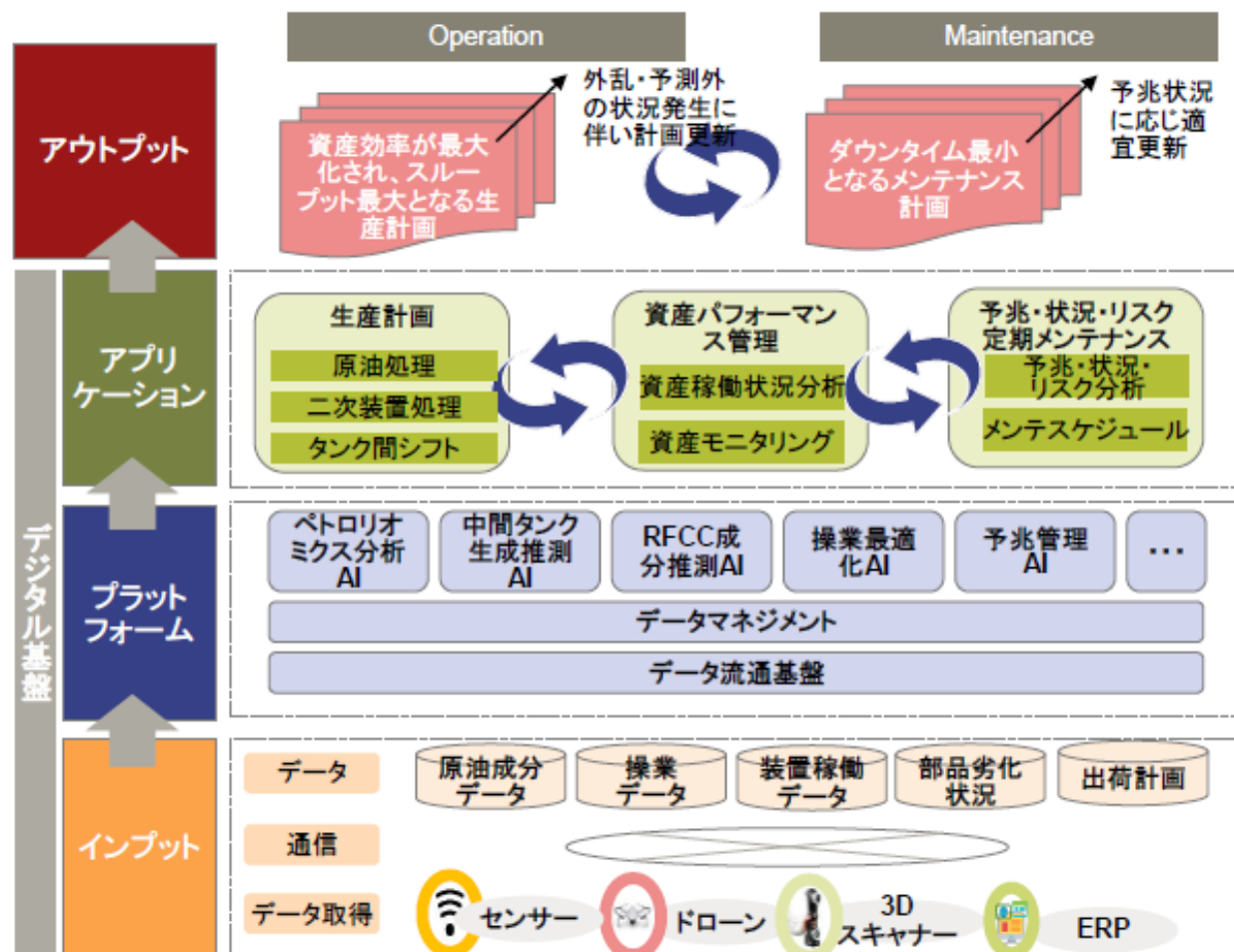
- ✓外乱・予測外の事態に
対し、生産効率、装置稼
働、メンテ予定等を踏ま
えた最適解に基づき対処

- ✓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

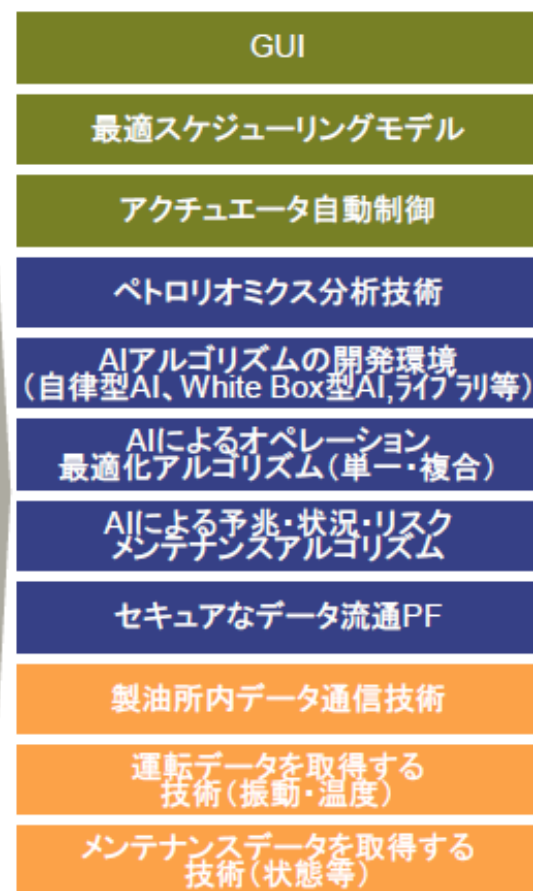
3. 検討結果 【製油所DXに必要なシステム、技術】

DXされた生産計画・メンテナンス計画には、様々なシステム／技術が必要となる

DXされた製油所の姿(イメージ図)



実現に向け求められる
主なシステム/技術



3. 検討結果 【DX実現の方向性】

それらシステム・技術について、技術的な難易度と共通化の可能性を踏まえると、ペトリオミクスやデータ取得技術の開発が重要度が高いか

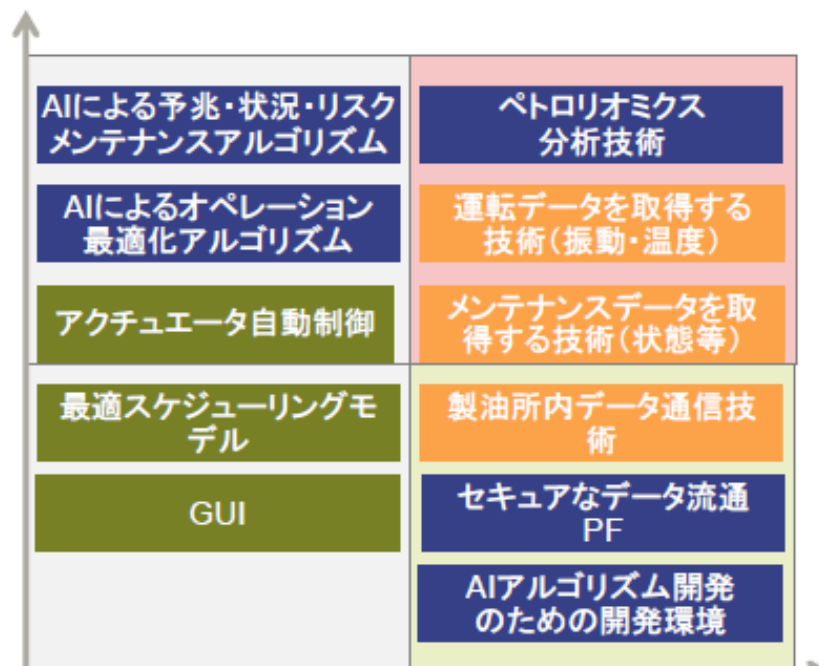
DX実現の方向性

技術的難易度
(開発難易度、開発に要するコスト・時間の多寡)



業界共通化の可能性

技術的難易度



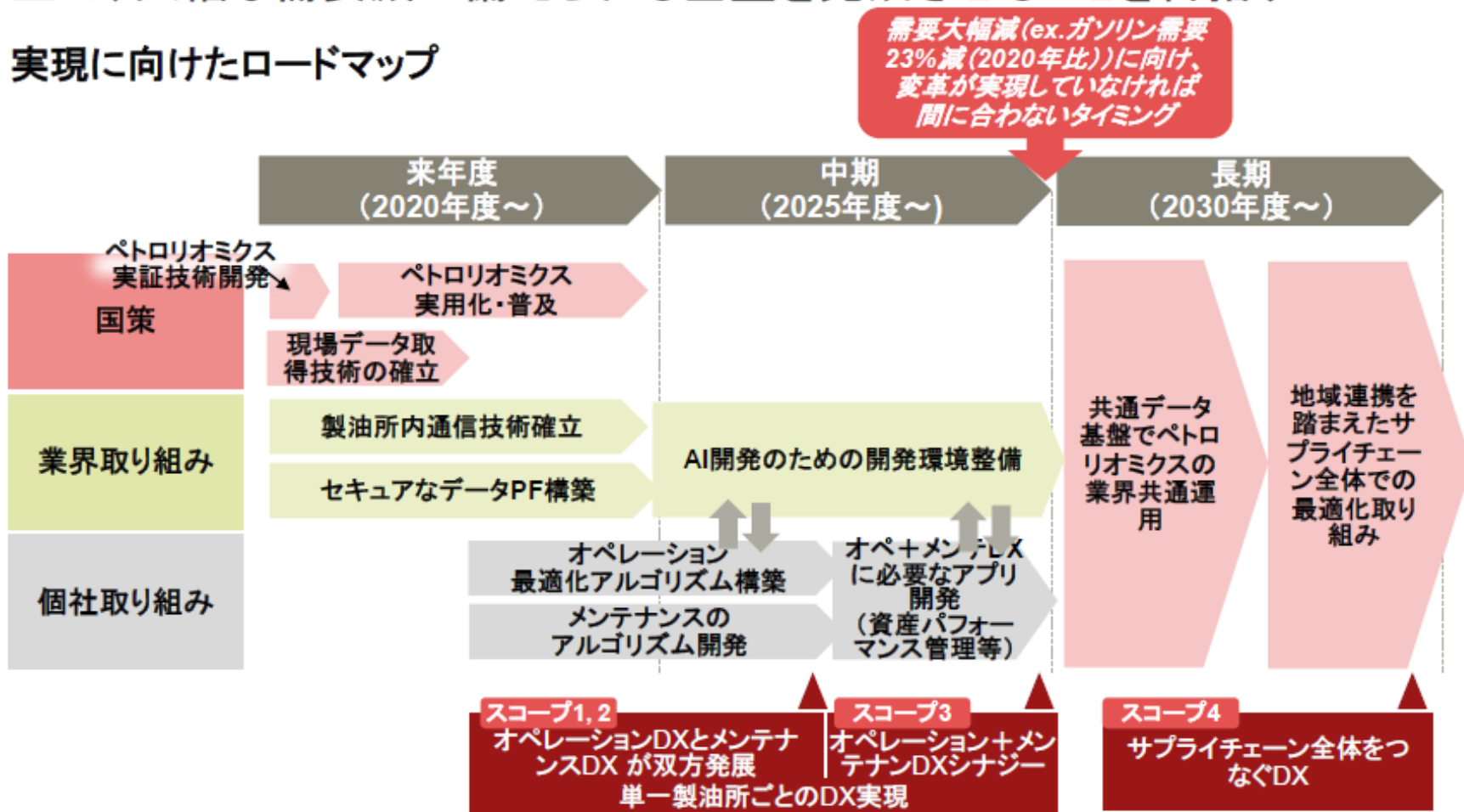
業界共通化の可能性

アプリケーション
プラットフォーム
インプットデータ

3. 検討結果 【製油所DX実現のロードマップ】

2030年には、製油所単位でのオペレーション+メンテナンスのDXに目途を立て、大幅な需要減に備えられる基盤を完成させることを目指す

実現に向けたロードマップ



製油各社においては、まずはDXのグランドデザイン策定から着手すべき

3. 検討結果【製油所DX実現のエコシステム】

DXの実現に向け、各段階において、業界横断的に様々なプレイヤーを巻き込むことが求められる

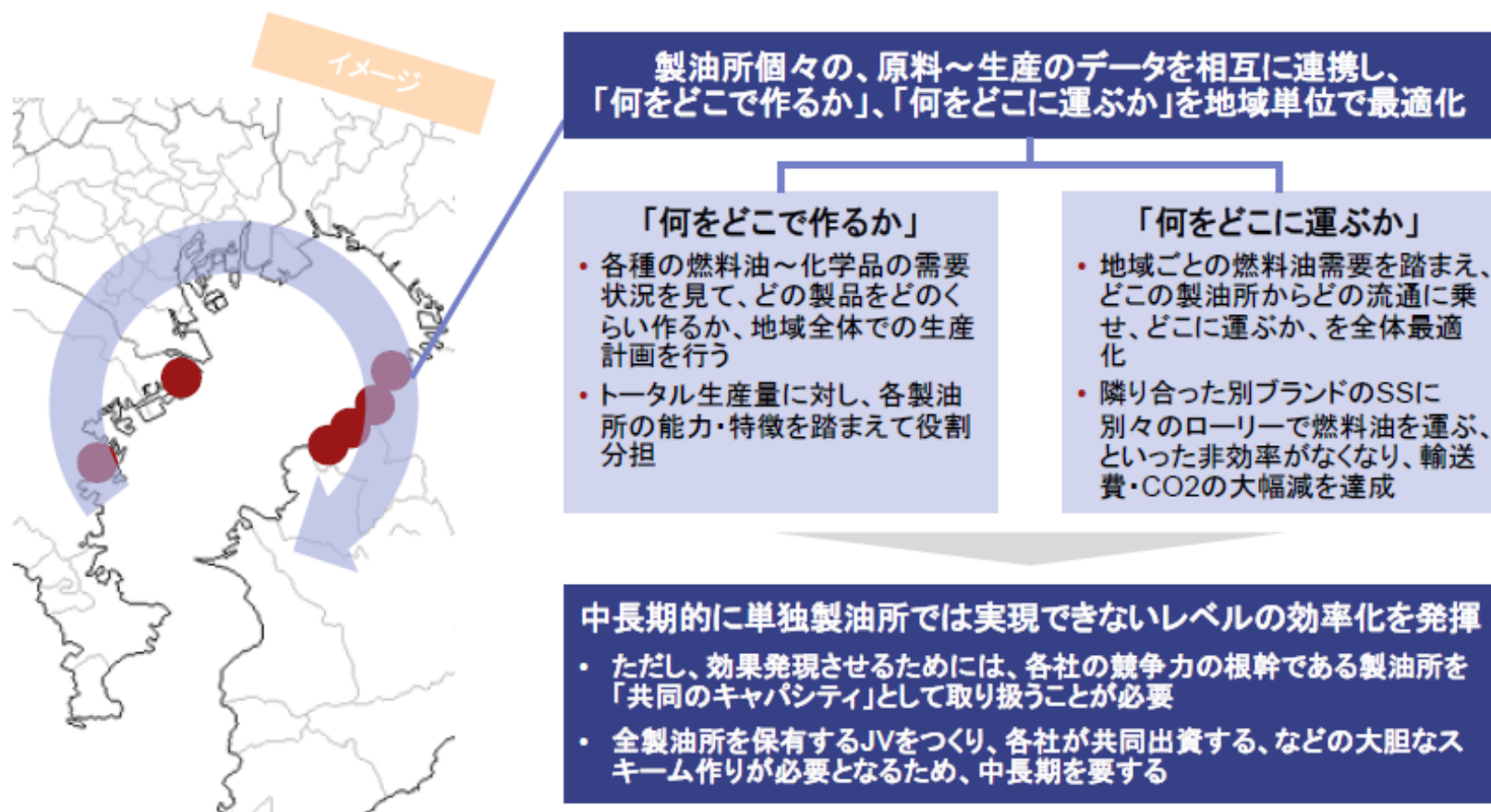
構築すべきエコシステム

例示的

			構想	PoC	メニュー化	実運用
全体統合/推進			JPEC (ビジネスコンサル)	JPEC (ビジネスコンサル)	JPEC・Sler	
要件定義	ビジネス		石油元売	石油元売	石油元売	
	システム		Sler	Sler	Sler	
インテグレーション				PoCコントラクタ		
アプリケーション	生産計画	初期の段階においては、アプリケーション・プラットフォームとも、自ら手を動かし、形にしていける存在が必要 ・「形のない」段階では、協業を持ち掛けるのは困難 ・最低限の構成で、データ～アプリケーションを、手を動かして構築し、「価値のあるものが出て来る」ことを検証するプレイヤーが必須 ・トップレベルのOT or AIのプレイヤーが役割を担うと想定		Sler /主機メーカー	Sler /主機メーカー	Sler /主機メーカー
	資産パフォーマンス					
	メンテナンス計画					
プラットフォーム	AI			AIファーム	AIファーム	AIファーム
	データマネジメント			Sler	Sler	Sler
	データ基盤			クラウドプレイヤー	クラウドプレイヤー	クラウドプレイヤー
データ	データ			主機/計測器メカ	主機/計測器メカ	主機/計測器メカ
	データ通信				通信事業者	通信事業者
	通信機器			通信機器ベンダ	通信機器ベンダ	通信機器ベンダ
	データ取得			センサメーカー等	センサメーカー等	センサメーカー等

3. 検討結果 【サプライチェーン全体DX化構想】

長期的には、個々の製油所のDXがベースとなることで、製油所間でのデータ連携しサプライチェーン全体での効率化・競争力向上も狙いうる



長期的に、これらの連携を「可能性の一つ」と位置付けるのであれば、短中期の個々の製油所のDXの取組みにおいても、将来のデータ連携を意識した標準化・共通化が重要

本調査は経済産業省・資源エネルギー庁の
「令和元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

「令和元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。