



インダストリアル・アナリティクス IIoT 革命を推進するエンジン

インダストリアル・インターネット・コンソーシアム技術白書

Wael William Diab, Huawei

K. Eric Harper, ABB

Dr. Shi-Wan Lin, Thingswise, LLC

William Sobel, System Insights

IIC:WHT:IN2:V1.1:PB:20170329

1 はじめに

産業分野のモノのインターネット(IIoT)は、産業資産や機械などのモノを企業情報システム、事業プロセスおよびそれらに携わる人々に結び付けようとするものです。先進アナリティクスはこの次世代レベルのインテグレーションの中心であり、機械や工程データに適用すると新しい洞察やインテリジェンスが生まれ、はるかに最適な決断ができ、変革をもたらす事業成果や社会的価値につながる賢い運営が可能になります。データが新しい燃料であるとするデータ・アナリティクス(データ解析学)は、IIoT 革命を押し進める新しいエンジンだと言えるでしょう。インダストリアル・アナリティクスは情報技術(IT)と制御・運用技術(OT)の融合を背景として数学、コンピュータ科学、エンジニアリング工学を集約させた新しい分野として、IIoT システムを成功させるための重要な役割を担っています。アナリティクスを工業分野で使用するにはビジネスのアナリティクスとは違った特有の要求や要件、特徴、課題があるので、実施する際に特別な考慮が必要です。インダストリアル・アナリティクスはまだ開発の初期段階なので多くの検討が必要です。本稿はその議論と研究を促し、この必要不可欠な技術を開発し熟成させることを意図に執筆されました。

2 インダストリアル IoT (IIoT)

IIoTは産業やインターネット革命の自然な流れの延長線上にあります。

IIoT はこれまでの改革より速いピッチで進み、今後数十年の経済成長の大きな推進力となるでしょう。世界経済フォーラム¹でもこのように言われました。「最初の産業革命は水と蒸気ので機械化を果たし、第二の産業革命は電力を使用して大量生産を可能にしました。第三の産業革命は電子・情報技術を使用して自動化生産を実現しました。第三の革命を基盤として発展した第四の産業革命は、今やデジタル革命を引き起こし、物理的、電子的、生物学的な世界の境界を無くしつつあります。

このデジタル革命を加速すべく、インダストリアル・インターネット・コンソーシアム(IIC)は、多様なアプリケーション ドメインにわたり IIoT の技術を進めています。IIoT はモノである産業資産と機械を企業情報システム、事業プロセスおよびそれらに携わる人々を統合します。この新しいテクノロジーは、産業資産や機械を統合することにより、機械や操作プロセスデータに先進アナリティクスを適用し、運用のための洞察を得ます。また運用を最適化して生産性や品質を向上させ、エネルギーや材料の削減を図り、柔軟性を高め、ひいては、安全、信頼性、データセキュリティおよびプライバシー保護、環境保護などの社会的価値への真摯な取り組みを維持しながら新たな事業価値を生み出します。

¹ Schwab, K., "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond", World Economic Forum (2016).

IIoTの世界にはITとOTの両方が含まれます。生産のヒントを与えてくれる機械データに適用するインダストリアル・アナリティクスは、OTとITの融合を推進するエンジンとも言え、最終的には第四次産業革命の価値を作り出すものです。

3 インダストリアル・アナリティクスの価値

アナリティクスは、広義では、システム化された分析を通じてデータを情報に変換する分野と定義できるでしょう。インダストリアル・アナリティクスはIIoTシステムにおいてアナリティクスを活用することです。

インダストリアル・アナリティクスの価値を理解するには、下記のユースケースが有効でしょう。工場で予期せぬダウンタイムや経費が発生するときの主な原因に機械の故障があります。予期せぬ設備不良や不必要な保全作業は数十億ドルに及ぶ損失につながるかもしれません²。現在、ほとんどの企業は、予防保守を定期的に行っています。これは、時間とリソースを費やしてアイドル状態の機械の保全（保守）をしたり、設備の運転を中断して不必要な保全（保守）作業をして設備の信頼性を低下させていることなのです。その一方で、不十分な診断で深刻な問題を見過ごし、予期せぬ設備停止や高額な修理が必要になる場合もあります。保全（保守）作業が過剰でも過小でも、運営用経費(OpEx)は高くなります。

これらの問題に対処するため、ただ定期的に保守するやり方から、コンポーネントの寿命特性と使われ方に基づいて、故障予測をし保全するやり方に転向する必要があります。更にアナリティクスをセンサーや機械の稼働データに適用して、一定の期間中に特定の設備不良を起こす可能性を予測するようにする必要があります。この情報により、予期せぬ不良で生産を中断することなく、機械の保全作業を低コストで最適なやり方で行うことができます。またアナリティクスを制御ループにも適用して、設備や工程に悪影響を及ぼす可能性がある状態を避けるようにすることもできます。

データ・アナリティクスは産業分野において最良の決断を下し、リソースを最も有効に使用するのに必要な洞察を提供する、重要な役割を果たしています。このような能力は効果的に労働力と資本の効率を向上させます。長期的なGDPの成長は、基本的に、資本と労働力、およびその効率に依存します。資本と労働力の効率向上は、GDPの成長を促すだけでなく、先進国であるか発展途上国であるかに関わらず、市場競争における優位性を高めます。

²J. Manyika, et al, “The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype”, McKinsey & Company (June 2015)

4 産業におけるアナリティクス

アナリティクスは、応用数学の一分野として何十年にもわたって広く導入され、金融、銀行、e コマースなどの分野では、特にビジネス・アナリティクスとして活用されてきました。

現在、産業分野において、アナリティクスは、資産の潜在的な障害の特定および処置、アップタイムの向上、修理費用の削減などに利用されており、状態監視と呼ばれていません。情報通信技術（ICT）の急速な発展に伴い、またセンサやコンピュータの技術革新の波にも乗って、世界各地の多数の機械に先進的なアナリティクスを使うことが可能になりました。機械学習も含めた解析アルゴリズムとその技術の発展は、産業用制御システムから収集した大量のデータ解析に使用されます。解析結果に基づく考察は、例えばピーク使用時の予測、予防保守に必要な部品のサプライチェーンの効率化等により、機械の稼働率向上に自動的に適用されます。また事業計画や意思決定に活用されます。インダストリアル・アナリティクスは設備データの解析結果から得た洞察に基づき、インテリジェントオペレーション・プロセスやインテリジェント・ビジネスプロセスを推進することにより、OT と IT の世界を融合させます。

5 設計に関する考慮事項

よく聞かれる質問の1つに解析をどこで行うかということがあります。

インダストリアル・アナリティクスを実施する場所について「アナリティクスをエッジ層で使うのですか」あるいは「解析エンジンをビッグデータのプラットフォーム上で走らせるだけで充分ですか」などの質問を受けることがあります。答えは状況により異なります。事業や ICT の観点からインダストリアル・エコシステムがどのように機能しているか詳しく見てみましょう。次のような制約事項により一般的なオペレーションやそれにとまなうインダストリアル・アナリティクスの要求事項は変わります。

範囲：最終的には、（生データではなく）導出された情報を得ることなので、どのような解析を使うかは導出した情報で何をしたいのかによって決まります。例えば、ある工場における設備のアップタイムを改善するのが目的なら、その工場で収集されたデータの解析のみで十分かもしれません。この場合には解析はどこでもできますので、遠隔で行う場合にネットワークの解析結果の利用可否などによって、その工場の通常のオペレーションに支障が出ることはありません。一方、複数の工場の効率を比較し生産の最適化を図ることがバリュープロポジションである場合は、それらの工場から収集したデータを解析する必要があるため、システム アーキテクチャの高い階層で利用できるようにしなくてはなりません。

応答時間と信頼性：産業分野では決定論的解析、計算および応答を必要とする問題が発生することがあれば、事後対処でもかまわない問題もあります。産業分野では、ほとんどの場合、信頼性と性能の理由からアナリティクスはその場（問題が発生した現場）で実施しなければなりません。

バンド幅：センサ技術の向上や開発コストの一層の低減により、工場に大量のセンサーを設置することができるようになりました。これらのセンサで収集されたデータや制御システムから収集したデータは、おそらく膨大な量になるでしょう。あるドメインの膨大なデータを他のドメインのデータに融合させるためにはネットワークインフラの増設が必要ですが、これにより貴重な考察を生み出すという見返りがあります。

容量：システム アーキテクチャの特定の階層で解析を実行することが最も望ましい場合がありますが、既存のインフラ構造では対応できないので、別の階層が選択されることがあります。ICT インフラ構造の主要 プロパティとしては、待機時間、バンド幅、および演算能力が挙げられます。

セキュリティ：データを動かすことによってもたらされる価値は、生データをコントロールされた環境の外に移すことについての懸念（リスク）や、それに伴うコストを考慮しなければなりません。したがって、まず、特定の場所で解析を実行し、必要なサマリー、編集済みまたは匿名化した情報を他のドメインと共有する方が効率的な場合もあります。

情報量：事業的価値を引き出すため、少なくとも一時的に、全てのデータを保存する必要があります。必要なストレージ容量はアプリケーションにより変わりますが、一般的に、クラウドに近いほど低コストでより大きな容量を利用できます。

速度：産業分野での測定値は、通常周期的にキャプチャされます。航空機のエンジンや風力タービンなどの振動や音響データなど、典型的な高周波データはデータ処理速度を大幅に高めることができます。考慮すべき事項として、一過性のイベントがあります。一過性のイベントの場合、発生順、因果関係、および根本原因を特定するため、測定値は、正確な測定時刻とともに取得する必要があります。このように低遅延が要求されるケースでは、測定場所の近くで高速データを移用することで、性能はさらに高まります。

データの多様性：産業分野では、速度や情報量ではなく、データ様式が多様であることが主な障害要因となって、急速な技術革新が進まないという状況が多く見られます。このような環境では長年にわたって導入された多くの設備機器があり、異なる制御方法、インターフェイス、さまざまなデータ等が混在しています。効果的な解析アナリティクスをするには、フォーマット（シンタックス）やコンテンツ（セマンティクス）の両方が大きく変化するデータを理解し、所期の洞察をもたらすような共有情報モデルに依存します。

解析アナリティクスの成熟：生データ（測定値）を説明（情報）に変換し、結果（知識）をコンテキストの中でとらえ、過去の経験（知恵）を活かして検討することに関しては、アナリティクスを実行する場所によって制限されることはありません。

時間相関：IIoT システムに共通した問題の1つは、データ生成の時系列順を含め、複数のセンサとプロセス制御の状態データを相関させることです。データを収集した現場での分析をせずに、単に上の階層に転送するだけでは、アナリティクスを適用するとき

に相関関係の負担が増加します。データが生成される場所に近い下の階層でアナリティクスを適用することにより、この時系列順の問題に対処できます。

データの発生源来歴：データが IIoT システムの中の異なるドメインに移行してシステムアーキテクチャの上の階層に進むとき、真のデータソースを見失うことがよくあります。解析アナリティクスをアーキテクチャの下の階層で実行すると、データが IIoT システムの中を進む間に、真のデータソースが分からなくなる問題を回避できます。

コンプライアンス：たとえば国家安全保障に関する懸念から航空宇宙や防衛の分野では、政府が、データの管理や共有に関わるアーキテクチャの決定に規制をかける場合があります。これにより、規制要求事項を満たすためには、どこにアナリティクスを設置する必要があるかが問われ、大規模な演算処理をパブリッククラウド上で行うことでコスト削減をはかる、ということができなくなる可能性があります。

下記の表 1 は、インダストリアル・アナリティクスの導入および設置場所の可能性について考察した例（この例では、工場内、企業内、クラウド上）を表しています。最初の二つでは組織内部に設置され、三番目は組織の外部（ただし、組織のコントロールが効くホスト）に設置されます。一つの観点のみ考慮する場合は、設置場所の柔軟性はありますが、二つ以上の観点から考慮すると、実現可能な選択肢はたちまち絞り込まれます。

Industrial Analytics Location

評価基準	工場	企業	クラウド
<i>解析範囲</i>			
単一サイトの最適化	X	X	X
複数サイトの比較		X	X
複数顧客のベンチマーク			X
<i>結果応答時間</i>			
制御ループ	X		
人による意思決定	X	X	
計画期間	X	X	X
<i>接続信頼性</i>			
サイト	X		
組織	X	X	

Industrial Analytics Location

評価基準	工場	企業	クラウド
グローバル	X	X	X
接続バンド幅			
生データ	X		
処理結果	X	X	
サマリー	X	X	X
ストレージと処理能力			
サーバ	X	X	X
複数サーバ		X	X
データセンター			X
データのセキュリティ			
機密企業秘密	X		
機密情報	X	X	
共有情報	X	X	X
データの特性			
容量			X
速度	X		
多様性	X	X	X
解析成熟度			
記述的	X	X	X
予測的	X	X	X
処方的	X	X	X
イベント相関			
秒未満	X		

Industrial Analytics Location

評価基準	工場	企業	クラウド
秒	X	X	
数十秒	X	X	X
データソース			
センサ	X		
資産	X	X	
サイト	X	X	X
規制へのコンプライアンス			
資産	X	X	X
プロセス		X	X
業界			X

X = 代案可能な選択肢

Table 1.-インダストリアル・アナリティクスの設計における考慮事項

どのような機能が必要か、どこにアナリティクスを設置すればよいかはこれら全ての要因を考慮して決定されます。一般的に言えば、イベントに反応するとき、どれほどネットワークの遅延やジッタを許容できるか、通常の生産の中で解析が占める重要度、（例；外部とのネットワークが遮断されたり、上の階層のシステムに接続できなかったらどれほど困るか）大容量のデータをアップロードする費用などにより、アナリティクスの種類や場所が決まります。決定論的応答、信頼性および障害許容カレジリエンスの観点からいけば、データソースに近いところでアナリティクスを実行することが最適で、決断意思決定をするためには解析結果にアクセスできなくてはなりません。ほとんどのシステムでは、ローカルと集約的アナリティクスのハイブリッドアプローチが求められています。

6 ビジネスバリューの創出

企業はより高い利益幅を生むために、スループットを向上させ、経費と在庫を削減する必要があります。

売上は製造のスループットを押し進めますが、企業の製造能力を超越することはできません。納期が遅れるなどにより、顧客の落胆を招くことになるためです。オペレーション全体のボトルネックを継続的に探し、それを一つ一つ削除して売上と利益の目標を達

成するという方法がありますが、この方法は、需要、生産、在庫、およびオペレーションプロセスに関する信頼できる情報に基づいて行う必要があります。IIoT とインダストリアル・アナリティクスによって、ステークホルダは、機械からデータを収集し、各工程をより効率化することが可能になります。現在 86% の企業が製造データを利用した企業アナリティクス・プログラムを導入していないことから、利用を広げるチャンスであるといえます。(LNS リサーチ, 2016³).

デロイト・ トウシュ・ トーマツリミテッドおよび米国競争力評議会による 2016 世界製造業競争力指数によると、予測分析とスマート・コネクテッド製品プロダクトが一位と二位を占めています。(次ページの表 2 を参照) これはほとんどの企業の CEO がアナリティクスの活用を最優先事項として求めているが、その技術はどのように適用されるのか、どの分野で最も利用価値があるのかについては十分に理解していないことを示しています。

Advanced Manufacturing Technologies	US	China	Europe
Predictive analytics	1	1	4
Smart, connected products (IoT)	2	7	2
Advanced materials	3	4	5
Smart factories (IoT)	4	2	1
Digital design, simulation, and integration	5	5	3
High performance computing	6	3	7
Advanced robotics	7	8	6
Additive manufacturing (3D printing)	8	11	9
Open-source design/Direct customer input	9	10	10
Augmented reality (to improve quality, training, expert knowledge)	10	6	8
Augmented reality (to increase customer service & experience)	11	9	11

Table 2. Ranking of future importance of advanced manufacturing technologies by executives, Source: Deloitte Touche Tohmatsu Limited and US Council on Competitiveness, 2016 Global Manufacturing Competitiveness Index

私たちのビジネス システムと解析能力が増大するにつれ、データとアナリティクスの戦略を導入する企業もあれば、しない企業もあるでしょう。これらの戦略を導入する企業は、各プロセスについて完全な説明責任を果たしながら、品質を維持する能力におい

³ <http://blog.Insresearch.com/5-real-surprises-from-the-2016-metrics-that-matter-research-study>

で、この技術を未導入の企業をはるかに上回ることになるでしょう。製造コストも一定になり、先進国は、技術と経験による価値が、賃金格差を補って、国際市場で効果的に競争力を発揮することができます。

7 分析アーキテクチャ

インダストリアル・アナリティクスは IIoT システムにわたって分散した異なるドメインに、さまざまな時間軸で適用できます。

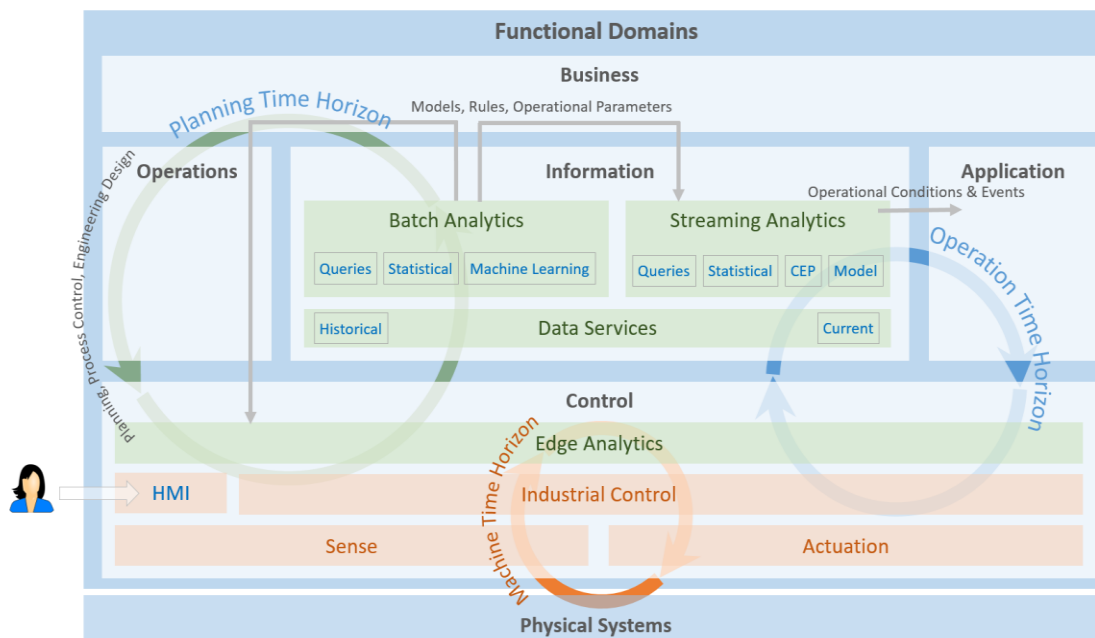


Figure 1. Analytics Mapping to the Industrial Internet Reference Architecture

上図に示すように、IIC によって開発されたインダストリアル・インターネット参照アーキテクチャ (IIIRA) の機能ドメインの観点から、必要なアーキテクチャを分析できます。

IIIRA のエンドツーエンド IIoT システムは、5 つの機能ドメインに分けられます。

1. **制御:** センシング、通信、実行、モーシオン、作動
2. **オペレーション:** プロビジョニング、管理、監視、診断、最適化
3. **情報:** データ融合、変換、保存、モデリング、解析
4. **アプリケーション:** ロジック、ルール、統合、ヒューマンインターフェイス
5. **ビジネス:** 企業と人材、顧客関係、資産、サービス・ライフサイクル、請求と支払い、作業計画とスケジューリング

制御ドメインは、産業資産または制御システムによって構成される機能の集合体で、主にそれぞれの閉ループ制御で使用されます。オペレーションドメインは、それぞれのオペレーション

が確実に継続するように、資産や制御システム管理、メンテナンスなどの機能を集約したものです。情報ドメインは、システム全般の高度なインテリジェンスを得るためにデータを収集、変換、分析する機能を集約したものです。アプリケーションドメインは、情報ドメインから得た情報に基づいて、ユースケースに特有なロジック、ルール、モデルを適用する機能を集約し、事業目標やオペレーションをシステム全体で最適化するものです。ビジネスドメインは、事業目標を達成するために、ビジネスシステムとアプリケーションにわたって情報を統合するための機能を集約したものです。

インダストリアル・アナリティクスの結果は、通常ミリ秒以下の解析レスポンスを必要とする機械の計画対象期間の制御ループに、オペレーションに関する洞察をリアルタイムで提供するエッジ分析として、制御ドメインに適用できます。自律走行車やロボットなどが、その例として挙げられます。このような計画対象期間の分析は、事実上ストリーミングの場合が多く、自動的に適用されます。インダストリアル・アナリティクスの結果は、アプリケーションドメインやオペレーションドメインに適用することができ、機械に関する洞察が提供されます。自動障害検出や診断などの高度保守、予防保守が可能になり、また、一連の機械や資産の最適な運用などを推進します。インダストリアル・アナリティクスの結果は、解析レスポンスが通常数秒以上のオペレーションの計画対象期間にも適用されます。この場合も、事実上ストリーミングであることが多く、自動的に適用されます。インダストリアル・アナリティクスの結果はビジネスドメインにも適用でき、事業計画やエンジニアリングプロセスの支援など、インテリジェント・ビジネスプロセスを可能にするための洞察を提供します。インダストリアル・アナリティクスの結果は、解析レスポンスが、通常数日以上プランニングの計画対象期間にも適用され、この場合は、(現場での修理を行うための作業と機械部品のスケジューリングなど)自動的に適用されるストリームデータ処理とオンデマンドクエリに基づくバッチ処理による解析の両方から構成されます。

8 インダストリアル・アナリティクス使用開始にあたって

インダストリアル・アナリティクスは機械の稼働パターンや挙動パターンを認識し、迅速で正確な予測を行い、意思決定をした時点で、確信を持って行動するために使用されます。

アナリティクスは、一般的に3つの主要な段階に分けられます。

記述的アナリティクスでは、状態監視と使用状況監視のダッシュボード、レポート、異常検出と診断、モデル構築またはトレーニングなどに関する過去と現在のデータストリームから洞察を得ます。

予測的アナリティクスでは、例えば容量の需要と使用状況の予測、材料とエネルギーの消費予測、コンポーネントやシステムの摩耗と異常予測など、統計と機械学習技術を用いた予測モデルに基づいて、想定する挙動や結果を特定します。

処方的アナリティクスでは、第一原理や経験的モデルに基づき、また、設計や実行の決定に関わる因果関係を含む予測分析を使用して、最適なソリューションを見出します。処方的分析の例としては、可能なすべての選択肢や機能を考慮して、製品の最終意図を達成するために

最適な製造工程を見出すための、確かな幾何学的なアセンブリモデルによるオンデマンド生産が挙げられます。

解析結果は、機械やシステムに自動的に適用することができます。あるいは、人間が理解をより深め、自信を持って意思決定をすることができるように、ビジュアル・アナリティクスによる支援をするために適用することができます。

一方で、インダストリアル・アナリティクスの結果は物理的な世界のオペレーションや安全性を変える可能性があり、IIoT 革命を推進するエンジンとしての独特の課題もあります。これらの影響は、望ましくなく、あるいは有害で、誤って人の安全性や資産、環境に損害を与える可能性もあります。また、インダストリアル・アナリティクスは、異なるセンサーや機械の互いに矛盾する可能性のあるデータを解釈することが多く、正しい結論に到達するために多岐にわたる情報ストリームを理解し、合成しなければなりません。インダストリアル・アナリティクスを計画する際に考慮すべき要件を下記表に示します。

正確性	インダストリアル・アナリティクスの結果は高レベルの正確さを満足させなければなりません。この分析を解釈し、実行に利用するシステムには、望ましくない、あるいは予期せぬ物理的影響に対する保護策が不可欠です。
タイミング	インダストリアル・アナリティクスは、厳しい期限と同期要件を満たす必要があります。インダストリアルオペレーションでは、信頼できる高品質のアクションを実現するために、分析結果をほぼ瞬時に、決定論的な時間枠で配信することが求められます。
安全性	インダストリアル・アナリティクスの結果を適用、解釈、実行に利用するときは、作業者、利用者、および環境を保護する厳しい安全要件が設定されなければなりません。
コンテキスト化	インダストリアルシステムにおけるデータ分析は、アクティビティや観測が発生するコンテキストを考慮せずに行うことは決してできません。実行されるプロセスについて完全に理解することなく、また設備や周辺機器の状態を考慮することなく、データの真の意味を引き出して実用的な情報にするための意味構築を実現することはできません。
因果関係のモデル化	インダストリアルオペレーションは物理的な世界に関する事柄を扱います。したがって、インダストリアル・アナリティクスでは、データの複雑な因果関係をモデル化するためのドメイン特有の専門知識を使用して、検証することが必要です。例えば、物理モデリングなどの第一原理と他のデータサイエンスの統計的および機械学習の能力を組み合わせることが、正確な解析結果を提供するために多くのインダストリアル・ユースケースで求められます。
分散型アナリティクス	多くの複雑なインダストリアルシステムには、地理的に分散した階層化構造があり、それぞれのサブシステムには、そのオペレーションを支援するための特有の解析要件があります。したがってインダストリアル・アナリティクスは、支援するサブシステムのローカルな要件を満たすようにテーラリングする必要があります。タイミング(長い遅延の回避)とレジリエンス(ネットワークや集中管理システムの障害発生時にサービスが広範にわたって停止することを回避)の観点から、解析すべきデータソースに近い場所、そして解析結果を適用する対象に近い場所で、解析を実行するような分散型のインダストリアル・アナリティクスが求められます。
ストリーミング	インダストリアル・アナリティクスは連続データ処理とバッチ処理のどちらにも対応します。インダストリアルシステムにおける連続的データ処理のため、多くのインダストリアル・アナリティクスは事実上ストリーミング

	で、ライブ データを分析し、解析結果を連続的フローで提供し、オペレーションを支援します。従来のバッチ式アナリティクスは、解析モデルの構築、改善、または人の意思決定の際に行われます。
自動化	インダストリアル・アナリティクスによって連続的オペレーションを支援するためには、ストリーミングデータの解析や解析結果は自動的に適用され、また動的且つ連続的に行われなければなりません。インダストリアル・アナリティクスの技術が進展するにつれ、学習などを通じて解析モデリングも向上し、自動化されていくでしょう。
セマンティクス	解析システムには、セマンティクスとコンテキストを持つデータが必要です。構造化されていないデータ(データソース、コンポーネント、あるいはシステムに関連付けた属性を付与せずレポートされた場合)は、解析の際に意味を推測しなければならないため、価値の導出が複雑になり、また、不要な推測はシステムの不確実性を高めます。ほとんどのデータは適切にデータソースに関連付けることができ、そのような情報を伝送する場合は、解析システムの精度と成功率は著しく増大します。

Table 3. Industrial Analytics Requirements

9 アナリティクスのキャパシティに関する考慮事項

インダストリアル・アナリティクスの機能性には、IT と OT の経験と知恵が盛り込まれています。両方とも信頼性の高いオペレーションと繰り返し実行可能な応答時間を必要としていますが、これらの目的を達成する方法は異なります。情報技術は必要な容量を提供するための弾力性に依存し、オペレーション技術は、エンジニアリングによる容量の決定性を確保します。

弾力性は、システムが自動的にリソースプロビジョニング、あるいはプロビジョニングの解除を行うことにより、作業負荷の変化に応じて、利用できるリソースを、それぞれの時点の需要にできるだけ合致するように、どの程度適時に適応することができるかを表すクラウドの基本的な技術です。⁴例えば、ほとんどの販売業は年末のホリデーシーズンに大きな収益を上げるので、この大切な時期に向けて人材、生産、物流が劇的に増大させます。そして、すべての IT システムが、これらの増加に対応できる十分なキャパシティを持ち、収益を損なうことがないようにします。年末以外の時期には、それらのリソースを縮小したり、用途変更をするなどしてコストを削減します。

決定論性は、予測可能な計算を支援し、測定値や結果をネットワークに接続したデバイス間で伝達する機能です。すべての作業要求を同じ応答時間で完了することが想定されており、期限は必ず守らなければなりません。解析と結果を決められた時間内に伝達する必要があり、確認の通知もしなければなりません。例えば、オペレーションシステムには、工場の状態に関わらず、継続的処理をすることができるようにキャパシティが設計されています。したがって、工場の始動時、あるいはシャットダウン時には、さまざまな値が急激に変化し、アラームが発生する可能性があります。IIoT システムの決定論的応答要件は、工場が安定して稼働している時と同じです。

⁴ Herbst, Nikolas Roman; Samuel Kounev; Ralf Reussner (2012). "Elasticity in Cloud Computing: What It Is, and What It Is Not" (PDF). Proceedings of the 10th International Conference on Autonomic Computing (ICAC 2013), San Jose, CA, June 24–28.

これらの 2 つの考え方はいろいろな意味で互いに補完するものです。インダストリアルプロセスと同様に、専用のリソースを使用して信頼性と予測可能性を提供することが適切です。クラウド上で、複数のテナントが同じセットのリソースを動的に共有する場合は、異なるレベルのサービスが存在する可能性があるため、機能をジャストインタイムで提供することが理にかなっています。製造業界では、共有資産を使用してジャストインタイムで部品を供給するオンデマンドサービスの方向に向かっている兆しがあります。世界経済フォーラムは、アクセンチュアと共同で実施した調査に基づき、これは、製造業界の長期的傾向であり、必要な IT キャパシティと製造サービス間の懸念事項は収束していくであろうと予測しています。

10 解析機能

インダストリアル・アナリティクス解析機能はアーキテクチャ全体へ展開可能

インダストリアル・アナリティクス・ソリューションを成功させるために必要な機能が下記の表 4 に挙げられています。それぞれの特徴は、非機能要求を除いて、ステークホルダの期待に合致するようなユースケースに基づいて定義されています。

視覚化	共通フレームワークを使用してデータの測定値と解析結果を表示、管理する。
探索	履歴データによるアドホックテスト
デザイン	データ解析段階、データ品質、データ・マイニング、およびビジネス・インテリジェンス・アルゴリズム構成の自動化
オーケストレーション	コンピューティング・リソースのクラスタに作業依頼をデリゲート（委譲）し、中間結果、最終結果を収集、集計する。
接続	共通フレームワークを使用してコンポーネント間のデータや作業依頼をやり取りする。
データクレンジング	適切な基準や条件に基づいて異なるデータソースから得たデータを融合する。データから無関係なデータやノイズを除去する。
演算	統計的、第一原理計算、機械学習モデルによる解析（例えば、ストリーミングデータのライブ解析、バッチあるいはアドホックデータ・マイニング、オペレーションと事業ビジネスインテリジェンス解析など）の計算をする。
妥当性確認	アプリケーションと環境の背景の中で適用された解析結果が、人や施設に害を与えないことを確認する。これはコア解析処理から独立した機能で、ガバナとして使用します。
適用	自動化をさらに進めながら、または人間の決断を支援する情報として、自動化システム（制御条件やモデルの調整など）、生産工程、事業プロセスなどを含む、さまざまなサブシステムに解析結果を適用する。
保存	測定値と算出したデータストリーム、特に時系列データシーケンスをアーカイブ、再現する。

管理	データソース、コンピューティングリソースとデータ解析のためのメタデータなどの情報モデルを管理する。
監督監視	処理が開始され維持されており、コンピュータリソースが残っていることを確認し、システムの信頼性を管理する。

Table 4. Industrial Analytics Capabilities

製造プロセスのユースケースでは、工場のオペレータは図表による視覚化によりプロセスラインの状態を把握します。警告が表示されたら、オペレータは、ディスプレイを利用して主要パラメータを時系列でドリルダウンします。次の作業の計画をするときは、オペレータはワークフローをドリルダウン表示（視覚化）し、想定する環境条件に基づいて、対処すべき懸念事項があるかどうか確認します。

インダストリアル・アナリティクスの基本的な前提条件は、インダストリアルプロセスや関連資産にアクセスし、これらからデータを入手することができるということです。データはプロセスに近い接続ポイントで収集し、少なくとも一時的に保存され、解析タイプに応じて測定値をスキャンし、評価します。保存された測定値は破棄、または、更に計算を行うためにアーカイブすることができます。データサイエンティストは、アーカイブされたデータを統計的手法で相関関係を計算し、アルゴリズムを適用して、ある期間のエビデンスを分類し、クラスタ化します。内容領域専門家は資産やプロセスの背景（コンテキスト）や状態を良く把握しているので、測定値を解釈して、妥当性確認を行い、データクレンジングフィルタを提案することができます。このようなデータサイエンティストと専門知識の組み合わせにより最良の結果を生み出します。

データとその関係性の理解を深めるとインダストリアル・アナリティクスのワークフローを自動化することができます。適切なフレームワークを与えると、生データを実用的な結果に変換するための自動化の設計、構成、オーケストレーションを行います。ワークフローとアルゴリズムコンテンツは、ステークホルダの期待を満たすために、必要に応じてクラウドとオンプレミスの両方でバージョン化され、展開されます。全体のプロセスは、すべての手順が完了し、妥当性が確認されるように監視されます。理想的には、インダストリアルアナリティクス・ソリューションは時とともに進化し、最底限のリソースを用いてより良い結果を生成し、経験や過去の履歴データが増えるにつれ精度を高めていきます。

最後終的なステップは、説得力があり、わかりやすい形式でインダストリアル・アナリティクスの結果を伝達し、提示することです。多くの場合、この機能はアプリケーションに特有のものですが、図表やグラフ、推奨アクションなどを表示するフレームワークを採用することができます。最も大切なことは、サマリーから提案内容を裏付けるエビデンスのドリルダウンまで、人間が解析結果と相互作用する方法を提供することです。

アナリティクスが進歩するに従って、有意義なオペレーションパターン、特に異常（アノマリ）を検出および特定して、これを裏付ける関連データとともに警告を発生させ、オペレータに自動的に通知するようになります。さらに障害の根本的原因を自動的に診断し、修復方法、あるいは修理対策を処方し、通常の領域からはずれる不適切な操作パ

ラメータを除外することにより、障害と故障を予防し、また、過去に類似部品を作製した経験から、障害や故障の発生を予測することができます。一方、機械の稼働効率は、アナリティクス結果の他、製造リソースのオーケストレーション、設備やオペレータの費用に基づいて、監視し、最適化することができます。

これらはいずれも、製造オペレーションの効率を向上させ、同時に、機械が最高の能力で稼働するように維持するためのオペレータのストレスを軽減します。ただし、アナリティクス自体は魔法ではありません。機械メーカ、システムインテグレータ、オペレータなどのエンジニアリングドメインの知識に導かれた適切な解析アルゴリズムとモデルを適用して、適切なデータを適切なタイミングで得ることが必要です。どのようなインテリジェントプロセスにも言えるように、これは、継続的な学習と改善のプロセスであることを認識することが重要です。たとえば、収集されるデータの種類を拡張したり、品質を向上させたり、アルゴリズムとモデルを精緻化させ、より深いドメイン知識をモデルに注入していくことが可能です。

11 最後に

インダストリアル・アナリティクスは、IIoTにおいて価値創造を推進するエンジンとして、IIoTコミュニティの特に注目しているものです。産業界の大部分の企業は意思決定支援やインテリジェントオペレーションの解析プロセスに、まだ機械データを取り入れていないため、インダストリアル・アナリティクスとIIoTは、新しい価値創造の次の段階を進めるための大きな機会を提供します。IIoTシステムにおけるインダストリアル・アナリティクスの開発は、事業目的と価値によって推進される必要があります。インダストリアル・アナリティクスには、特に開発の初期段階では、オペレーションや事業の要件を柔軟に満たし、用途の変化や技術の進歩に適応できるように、先見性のあるシステムアプローチとアーキテクチャアプローチが必要です。

さらに、エンドツーエンドのインテリジェントなインダストリアルオペレーションとビジネスオペレーションを十分に支援するためには、サービス間およびドメイン間で、データや情報を共有することが必要です。例えば、製品の製造の場合、機能のエンジニアリング、そして、その製品の実行、検証、品質およびライフサイクルメンテナンスのための解析モデルの構築を支援するために必要なサービスがあります。これらのサービスは、経験的アウトカムにより処方的決定を検証し、また、最適なソリューションを提供するために相互作用をする必要があります。これらのサービスの相互作用と共有化された情報が、最も影響力のあるエンドツーエンド解析ソリューションの鍵となります。

したがって、インダストリアル・アナリティクスのベネフィットを実現させるには、技術とノウハウを共有、発明、標準化させるコミュニティやエコシステム全体の努力が必要です。インダストリアル・アナリティクスは、IIoTやインテリジェントインダストリアルオペレーションにおける中心的役割と想定される多大な影響力によって、急速な成長を遂げることが予測されています。ただし、まだ初期の段階にあり、その健全な発展のためには、コミュニティ全体で育成していくことが必要です。

今こそ、期待される成果を実現するために、成功するインダストリアル・アナリティクスのコミュニティを構築するときです。

12 謝辞

本文書は、インダストリアル・インターネット・コンソーシアム(IIC)の研究の成果物です。IIC は、この白書における下記著者の指導力に謝意を表します。

Wael William Diab

ディアブ氏はネットワーク キングと ICT の分野で 860 以上の特許を有する、ビジネスとテクノロジーのストラテジストです。同氏が、大手企業のブレイクアウト技術による製品の戦略に手腕を発揮し、事業計画を立案し、業界における標準化の推進と技術ロードマップを主導した分野には、グリーン ネットワーク、イーサネット、PoE、EFM、クラウド/ミスト/フォグ/エッジ・ネットワークキング、モノのインターネット((IIoT)、インダストリアル・インターネット、ビッグデータ、オートモーティブネットワーク、高度道路交通システム(ITS)、オーディオ・ビデオ・ブリッジング(AVB)、確定的特性を可能にするタイム・センシティブ・ネットワーク(TSN)、ICT サステナビリティ、オープンコンピュー・オープンソースなどが含まれます。



ディアブ氏は、現在、ファーウェイ(Huawei)のシニアディレクターを務めていますが、以前は、シスコやブロードコムその他、フォーチュン・グローバル 500 企業の最高幹部として、その役割を果たしてきました。スタンフォード大学電気工学部にて学士号と修士号を取得、経済学部にて学士号取得、また、ペンシルバニア大学ウォートン校より名誉修士号を授与されました。ICT 分野で 358 の米国特許を取得し、504 以上の特許を出願中です。2011 年には、グリーンテクノロジーにおいて TechAmerica Foundation より David Packard Medal を授与されました。現在は IIC リエゾン・ワーキンググループ、技術ワーキンググループ、インダストリアルアナリティクス・タスクグループの共同チェアであり、IIC ステアリング・コミッティのメンバー(ファーウェイ社代理)を務めています。共著に *Ethernet in the First Mile: Access for Everyone* があります。

K. Eric Harper

ハーパー氏は、ソフトウェアアーキテクチャおよびサステナビリティ技術を専門とする ABB Corporate Research Center 上級主席研究者です。同氏は過去 9 年間にわたって、インダストリアル・インターネット、プロセスオートメーション、変電所自動化、およびパワーエレクトロニクス分野において多大な貢献をしました。バージニア工科大学卒業後、GE 社大型蒸気タービン部門およびコーポレートリサーチ部門に所属し、同社 Advanced Course in Engineering(ABC)プログラムの一環として、レンセラー工科大学(電力エンジニアリング)にて受講しました。その後、ウェスチングハウス発電部門に異動し、電気発電所の状態監視および診断を専門に行うサービス機関において、多大な技術的貢献をしました。過去 20 年間にわたり、



分散アーキテクチャ、ファクトリーオートメーション、ビジネスアプリケーション、ミドルウェアツール、サーバ管理、IT セキュリティ、ヘルスケア IT、ソフトウェア性能およびスケーラビリティなどに関するハンズオンプロジェクトの指導者、開発マネージャ、そしてソフトウェアアーキテクトとして、多岐にわたる職務をこなしてきました。現在は、ABB において、インダストリアル・アナリティクスのための同社のアーキテクチャを主導しています。また、IEEE/IFIP ソフトウェアアーキテクチャ・ワーキングカンファレンス (WICSA) ステアリング・コミッティの委員、および IIC ステアリング・コミッティのメンバー (ABB 社代理) を務めています。

DR. SHI-WAN LIN

リン博士は、OT の要求事項を満たすように主要な IT 技術を適応させ、導入した、IIoT システムのために構築したターンキー ソリューションとして、ストリーミングアナリティクス・プラットフォームを提供する

Thingswise, LLC (www.thingswise.com) の共同創始者兼 CEO です。

また、IIC のさまざまな技術グループ、および Plattform Industrie 4.0、IIC、およびアーキテクチャ共同タスクグループ、アメリカ国立標準技術研究所 (NIST) サイバーフィジカルシステム・パブリックワーキング・グループの共同チェアを務めています。IIC インダストリアルインターネット参照 アーキテクチャの主要な貢献者でもあります。それ以前の 10 年間は、インテルにて、最終的には IoT グループ Strategy and Technology Office 主幹エンジニア/科学技術者として貢献しました。その他の経験歴として、Sarvega, Inc. (Web サービス、SOA、セキュリティ関連スタートアップ)、ルーセント-テクノロジーズ、モトローラなどが挙げられます。リン博士は、システム アーキテクチャ、ビッグデータ、アナリティクス、エンタープライズソフトウェア、クラウドサービス、システムセキュリティと信頼性、通信およびワイヤレスデータ通信などの分野で、大企業とスタートアップの両方において、20 年以上の経験を有しています。



WILL SOBEL

ソーベル氏は、System Insights, Inc. 共同創始者兼 CSO であり、また、MTConnect Institute 技術ステアリング・コミッティの主席アーキテクト兼チェアを務めています。MTConnect Institute の標準オープンソース実装における主要な貢献者でもあります。

ソーベル氏は、25 年以上にわたり、数多くの業界の複雑なアプリケーションのアーキテクチャ、管理、開発に携わってきました。System Insights を創設する前は、カリフォルニア大学バークレー校 RadLAB 客員講師として、アジャイル Web 開発について教鞭を取っていました。その傍ら、製造業でデバイス間通信が標準化がされていないことに対処するために、製造技術協会 (AMT) コンサルタントとして、MTConnect 規格を起草しました。カリフォルニア大学に勤務する前は、世界でも有数の資産管理会社のための金融リスク管理ソフトウェアを専門とする MSCI-Barra の VP 兼チーフアーキテクトを務めていました。



Wael William Diab ((Huawei), K. Eric Harper(ABB Technologies), Dr. Shi-WanLin((Thingswise)、Will Sobel(System Insights) 共著による技術ワーキンググループの出版物です。

Copyright(c) Industrial Internet Consortium. All rights reserved.本文書は、現状のまま提供され、一切の保証を伴いません。

本文書のいかなる複製、配布、使用も下記リンク先 www.iiconsortium.org/legal に掲載されているインダストリアル・インターネット・コンソーシアム(IIC)の使用に関する情報-条項および通知の内容に基づく、限定的なライセンス、許諾、免責事項に従います。これらの条項に同意しない場合は、本文書を使用することはできません。