サブファブからクリーンルームまでのファブパフォーマンス指標を達成する

Achieving Fab performance metrics from the SubFab to the Cleanroom

Author: Matt McDonald, Global Product Manager, Edwards

Contributors:
Erik Collart, Global Product Manager | John Dalziel, Global Programme Manager |
Antonio Serapiglia, Senior Product Manager, Edwards

安全、品質、納期、コスト、人材、環境の指標(SQDCPE)を達成する

真空・除害システムは製造工場の指標にどのように影響するか？

真空ポンプと除害システムは、半導体製造プロセスの重要な部分です。装置のタイプやプロセスノードに関係なく、サブファブには数百、数千もの真空ポンプや除害システムがあります。

最近まで、工程や歩留まりの変動要因として、これらはほとんど無視されてきました。しかし、他のより大きく、より直接的な製造工場の障害要因が排除または制御される中で、「隠れた変数」の探索が進められています。サブファブ機器は、パフォーマンスを向上させ、競争上の優位性を高めるための候補として挙げられています。

半導体製造はすでに高度にデジタル化され自動化された環境にあり、スマートファクトリツールやインダストリー4.0の原則が導入されています。製造プロセスの複雑さ、日々の業務の煩雑さ、そして進歩と改善の継続的な必要性は、データドリブンアプローチの必要性を高めています。

この電子書籍では、各製造工場の指標をレビューし、サブファブからクリーンルームに至るまで、最良のパフォーマンスを引き出すための発見と推奨事項をまとめています。

このセクションを見る

安全(Safety)

真空および除害システムは、半導体処理に使用されるすべての有害物質を集めて無害化し、廃棄できるようにします。これらのガスや副産物の多くは有毒、可燃性、発火性、または環境に有害であり、慎重に取り扱わなければ、製造工場のスタッフや周辺地域の健康と安全に重大な脅威をもたらします。

真空・除害システムの大部分は、クリーンルームとは非常に異なる環境であるサブファブにあります。そこはクリーンルームでは一般的なレベルの自動化された材料処理がありません。関連するプロセスツールの下またはその定められたスペースに危機が密集しており、安全な運用のためには人、機械、プロセスの密接な相互作用に依存しています。米国労働安全衛生局（OSHA）への適用が必要です。

パフォーマンス指標

推奨事項

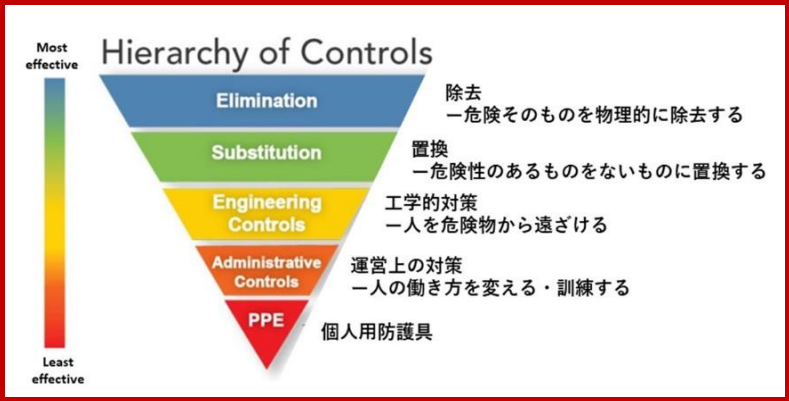
パフォーマンス指標

サブファブ	ファブ全体への影響
休業災害 しばしば総記録ケース率（TRCR）および失業ケース率（LWCR）として定義される 労働安全衛生局（OSHA）によって定義された事故および健康被害のケース。	重要な人員が負傷しているか、危険にさらされています。これらの人員は就業不可能となり、代替要員を確保する必要があります。 *主要な半導体企業の調査によると、世界的なベンチマークは、100万時間の作業あたりTRCRが2.35、LWCRが0.35を達成することです。
安全インシデント	また、従業員に怪我をさせる可能性があるだけでなく、生産を中断せざるを得ないケースもあります。
危険物の漏洩	ファブからの避難（生産時間の損失 – 回復と清掃にコストがかかる）。避難の度にファブ全体が停止し、生産時間が失われる可能性があります。

*出典: Occupational Safety and Health Administration OSHA

リスク管理のベストプラクティス

ヒエラルキーコントロール



出典: National Institute for Occupational Safety and Health

推奨事項

安全文化を育成する：すべての職員が安全報告を利用できるようにし、継続的な改善のために手順に疑問を呈する文化を奨励します。サブファブのサプライチェーンとのパートナーシップを築き、安全が行動を導く基本的な姿勢であることを確実にしましょう。

業界標準とベストプラクティスの実施：これらのリスクを管理するには、最良の方法をシステム化し、安全文化を促進する包括的なアプローチが必要です。業界ガイドラインやベストプラクティスはその出発点であり、Semi S30ガイドラインやOSHAのヒエラルキーも含まれます。

データ分析：メンテナンスイベントを予測することで、より良い計画と準備が可能になります。これにより、危険を伴う作業を急がず慎重に進めることができます。また故障モードに関する学習を促進し、その結果をフィードバックとして将来の設計改善に生かします。

品質指標

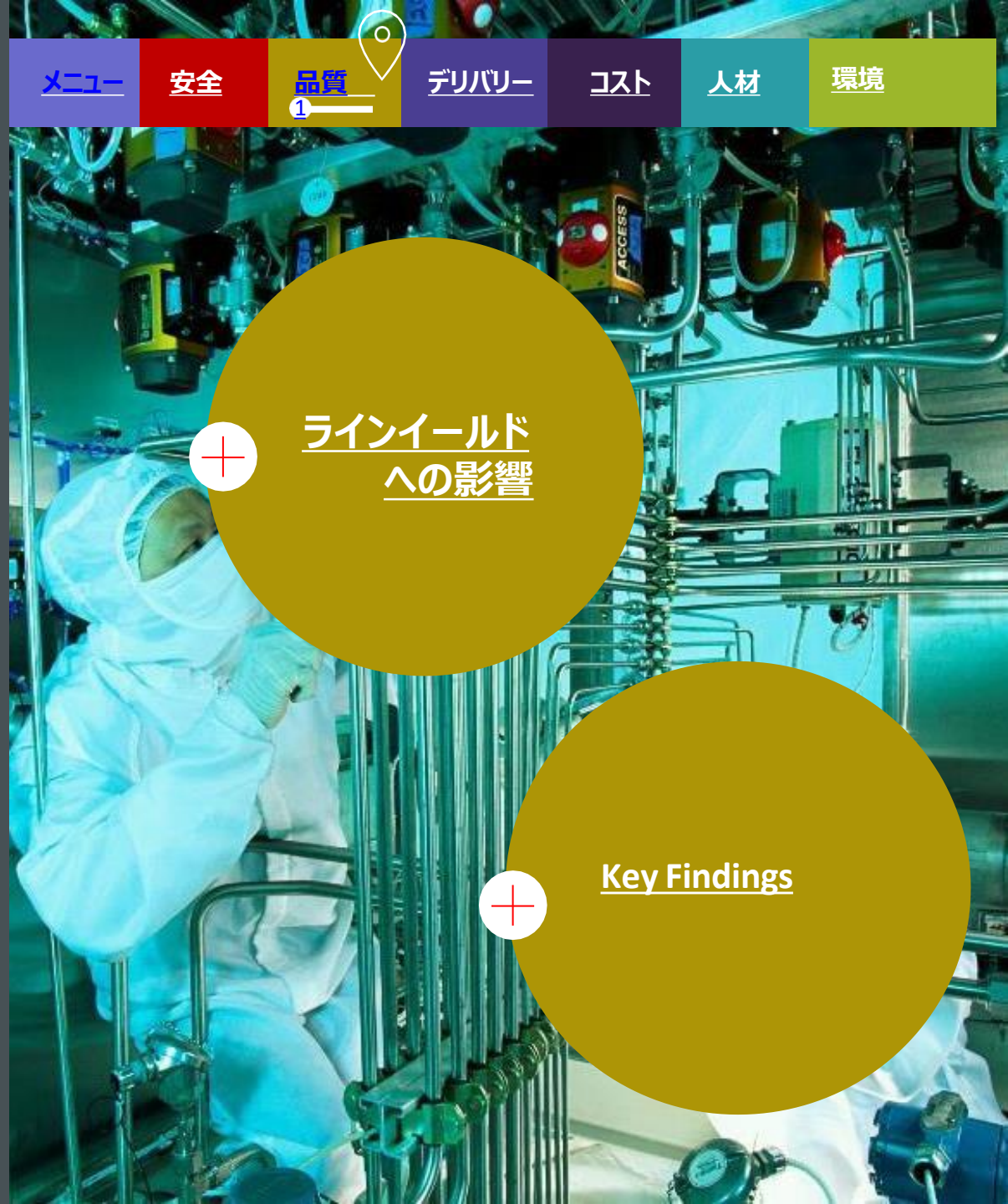
このセクションを見る

品質(Quality)

先進的なプロセスで必要な処理ステップの数が増えるにつれて、真空と除害装置が生産ラインや製品の歩留まりに与える影響も大きくなります。

真空および除害装置は、プロセスの種類（堆積、エッチング、または洗浄）や使用される特定の材料やガスに応じて、プロセスごとに異なる挙動を示します。

機器の選定とメンテナンスの決定は、各プロセスステップで非常に重要です。後手に回った選択は、非効率やプロセスツールのダウンタイム、重大な安全リスクを引き起こす可能性があります。



ラインイールドへの影響

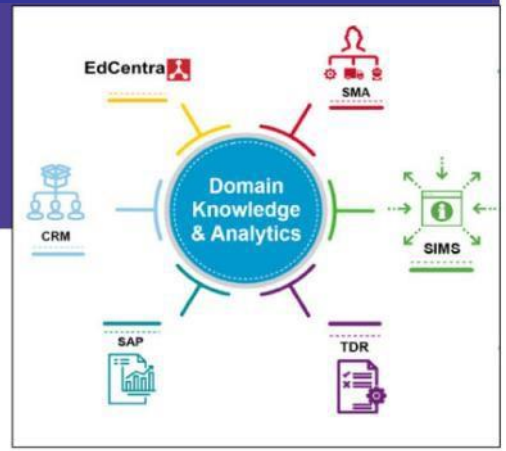
Key Findings

ラインイールドへの影響

歩留まりは、全体のウエハ処理コストにおいて最も重要な要素です。歩留まりがわずかに増加するだけでも、ウエハあたりの製造コストを大幅に削減できます。

予定外の真空および除害装置の故障やダウンタイムは、ウエハが廃棄される原因となり得ます。月産40,000枚のウエハを処理するファブにおいて、例えば、炉工程で125枚のウエハ廃棄が2回発生すると、歩留まりに0.625%の影響を与えます。

データを実行可能なインサイトに変換し、
ウエハの歩留まりを向上させ、
計画外のダウンタイムを回避します。



サブファブへの影響

サブファブ機器の故障は、プロセスが複雑化するにつれてラインの歩留まりに与える影響が大きくなります。

真空および除害のデータは、ダウンタイムを回避するための運用状況に関する豊富な見識を提供します。

データの収集、分析、そしてデータを有用な情報および実行可能な見識に変換することは重要です。

このセクションを見る

Key Findings

サブファブ機器をより効果的に管理し、ラインの歩留まりを改善するためには、機械、人、プロセスの相互作用を理解し、実行可能な知見を得ることが重要です。

データ収集

サブファブ内のすべての機器から関連するデータを収集する能力が求められます。サブファブの設備は多種多様です。そのため、すべてのデータを1つのプラットフォームで収集することは、インフラの観点から、大きな挑戦となります。

互換性

機器だけでなく、他のモニタリングやプロセス制御ソフトウェアとの接続も必要です。
これらのプラットフォームは、以前は接続されておらず、各々が異なる形式だったため、接続は難しい課題でした。

活用性

データを実行可能な情報に変えること、つまりすべてを理解して有効活用することが重要です。
エンジニアは、様々な情報源から得たデータを専門知識と組み合わせ、効率的な作業方法や持続可能な改善策を見出して、価値を創造します。

デリバリー指標

このセクションを見る

デリバリー
（Delivery）

計画外のサブファブメンテナンスにより、年間数千時間の生産時間が失われています。

サブファブで想定外の出来事が発生し、ツールやチャンバがダウンすると、ウエハが失われたり出荷が遅延したりし、そのウエハのサイクルタイムが長くなります。特に、ボトルネックツールでは、これが大きな問題となります。

パフォーマンス指標

Key Findings

パフォーマンス指標

デリバリー指標	計画外の真空および除害イベントは、デリバリー指標にどのような影響を与えるのか
サイクルタイム	月産40,000枚のファブにおいて、3か月の計画サイクルタイムと仮定すると、常に120,000枚以上のウエハがライン上に存在することになります。デリバリー遅延は生産ラインの不安定化を招いたりボトルネックの原因となります。
ウエハスクラップ	ウエハスクラップの原因となるダウンタイムは、ウエハの生産量に明らかな影響を与えます。見落とされがちなのは、ツール全体がダウンしていないにも関わらず、クラスターツールの一つのチャンバがダウンした場合のスループットへの影響です。
	個別の装置の影響: 並列クラスターツール: 単一のチャンバで真空破壊を起こすと、ツールの能力の一部が失われます。 直列クラスターツール: 単一のチャンバで真空破壊を起こすと、全体のツールが停止する可能性があります。 **すべてのツールに対する影響:** 除害装置がダウンすると、バックアップがない場合や顧客がバイパスで運転できない場合、全体のツールが停止します。

メンテナンス作業によって失われた平均処理時間

メンテナンスにおける典型的なツールのダウンタイム

計画外
18 時間

計画
11.5 時間

計画外のメンテナンス停止ごとに平均して7.5時間の生産可能時間が無駄になります

Key Findings

このセクションを見る

Key Findings

私たちのオペレーショナル・エクセレンス・モデルには、サービス成熟度モデルが組み込まれており、5つのレベルに分かれています。

1. **最も低いレベル**：何もしないこと。
2. **リアクティブ・メンテナンス**：故障するまで放置し、故障後に修理する。これはリスク・ベースの戦略で、メンテナンスコストを最小化することを目指しています。
3. **計画的・予防的メンテナンス**：時間ベースで定期的に実施。効率と性能の向上に注目し、故障の可能性が高くなる前にメンテナンスを行う。最適な時期を決定し、性能と手順を標準化する。
4. **予知保全**：状態ベースで、運転パラメータを監視して故障を予測。故障を回避し、介入するまでの時間を最大化する。
5. **処方的保全（Prescriptive Maintenance）**
   最も高いレベルで、ユーザーとサービス提供者が密接に連携し、継続的な改善への共通のコミットメントに基づいて、保全活動を処方的アプローチで進めます。故障の根本原因をより深く理解し、調整を行い、結果を最適化してユーザーの目標を達成します。

さらなる学び

サービス成熟度モデルの定義については、インフォグラフィックをダウンロードしてご確認ください。

Service Maturity Infographic

Download
edwardsinnovation.com/operational-excellence

コスト指標

このセクションを見る

コスト(Cost)

最先端の半導体ウエハ1枚の価値は17,000ドルと推定されます。バッチプロセスで1回のダウンが発生すると、200万ドル以上の追加コストと収益の損失が生じる可能性があります。

*出典: Centre for Security and Technology (CSET) REPORT, 2020
https://www.techspot.com/news/96813-analysts-believe-single-tsmc-5nm-wafer-costs-17000.html

パフォーマンス指標

推奨事項

パフォーマンス指標

コスト指標	計画外の真空および除害イベントは、デリバリー指標にどのような影響を与えるのか
メンテナンスコストの削減	これらは消耗品、予備品、労務、製造にかかるコストです。真空システムが予期せず故障した場合、交換は可能ですが、それに付随する多くの作業を終え、最終的に温度設定する必要があり、真空システムをユーザーに返却できる状態にはなりません。プロセスツールを回復するためのコストは、真空システムが安全に停止できるかどうかによってかなり異なります。たとえば、重要な部品を交換するために何千ドルもかかることや、パーティクルを取り除くためにチャンバークリーニングをする費用がかかることがあります。
スループットの向上	可用性を高めることはスループットの向上に等しい。真空システムが予期せず故障した場合、チャンバーは12時間以上ダウンする可能性があります。年間150件の予期しないトラブルが発生する場合、失われたシステムの可用性は1,800時間になります。また、間接的なコストとして、たとえば、ウエハのスループットが減少すると、全体的なツールの利用率が低下し、プロセスツールのランニングコストおよびTCoO(総所有コスト)は増加します。
ウエハ損失の削減	これは、予期しない真空システムのダウンにより、廃棄されたウエハに関連するコストです。ウエハの廃棄を最小限に抑えることは、必要な在庫準備とコストの削減にもつながります。

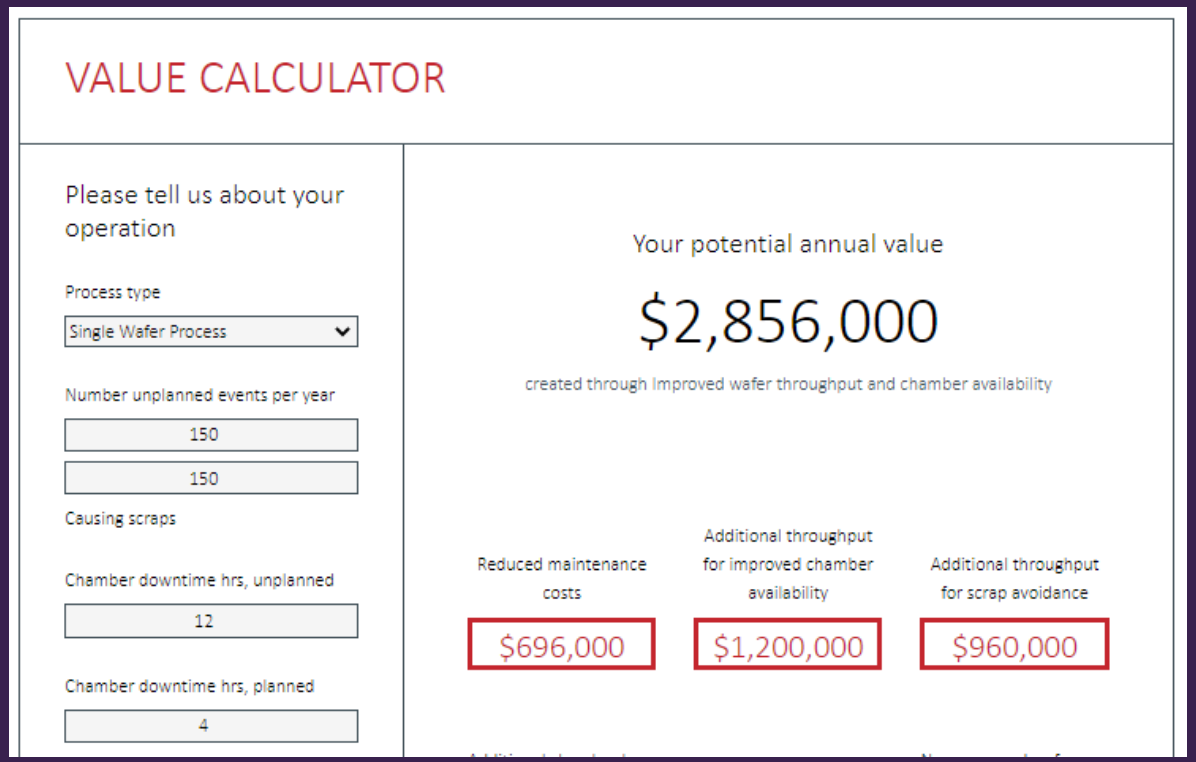
営業利益率(OPR) の改善

- ✓ ウエハの廃棄コストを最小限に抑える
- ✓ 効率とツールの可用性の向上により、ウエハ当たりのコストを改善する
- ✓ 在庫とメンテナンスコストを削減する

このセクションを見る

Key Findings

真空および除害システムがOPRの改善に寄与するためには、これらがいかに収益性向上に貢献できるかを理解することが重要です。年間の真空機器の計画外メンテナンスの数を基に、メンテナンスコスト削減、チャンバの可用性向上、スクラップの低減による価値を推定できます。



Learn More
バリュー計算ツール - Edwards Vacuum

イラスト: 特定のプロセスにおける年間*150*件の計画外メンテナンス回避試算の例（*Value*）

削減可能なメンテナンスコスト	チャンバ稼働時間向上の価値	ウエハスクラップ低減による価値
$696,000	$1,200,000	$960,000

$2,856,000
年間の潜在的な価値の合計

人材 メトリック

人材 (People)

クリーンルームの課題に真空と除害システムの知識を活かすためには、オペレーショナルエクセレンスを達成するために原則、ツール、そして人々を統合することが重要です。インダストリー4.0は、技術を使用し、技術と共に働くための人材育成の必要性を強調しています。次の段階であるインダストリー5.0は、技術、知識、安全性などに関連する人々のスキルと創造性に重点を移します。

主要な能力

Key Findings

主要な能力

人間の直感、問題解決能力、専門知識は、ビジネスニーズに応じて形作られる柔軟な資産です。
人々は問題解決と価値創造に集中する時間が増え、ファブのパフォーマンス目標を達成するために重要な能力が最大化されます。

専門家の育成

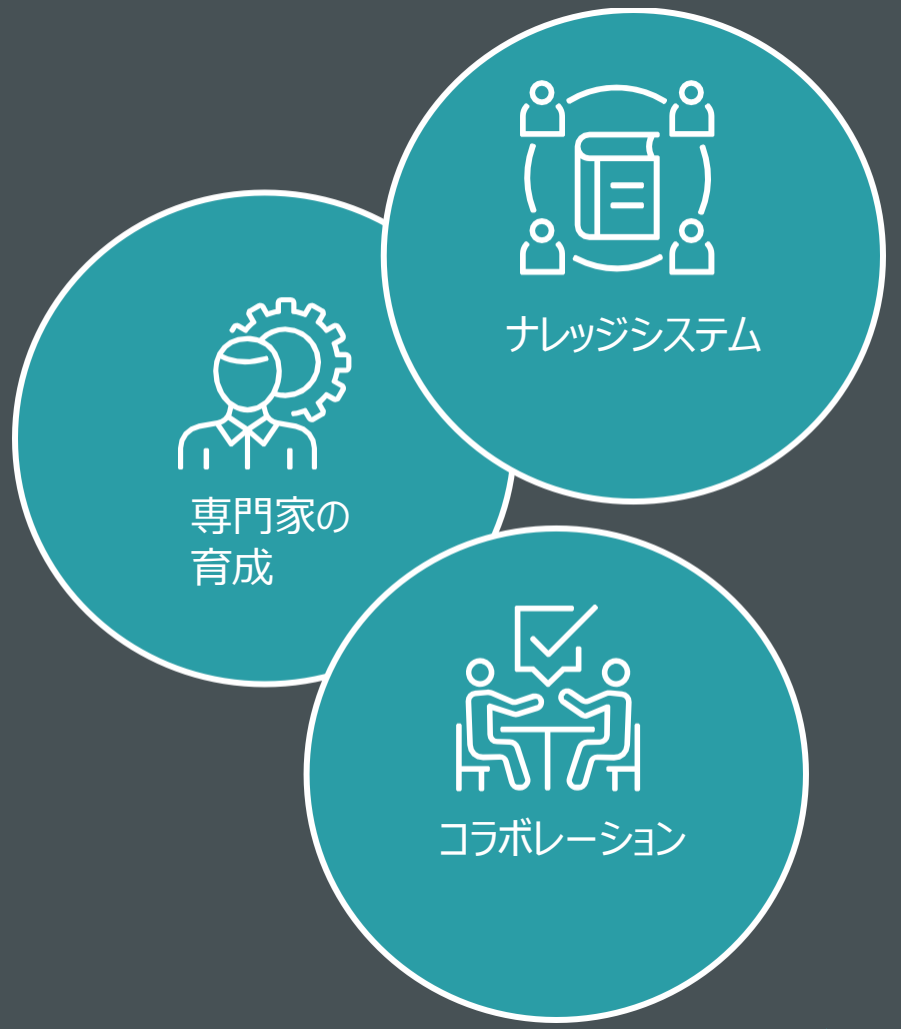
効果的な解析を行うためにはモデル作成とデータ分析のトレーニングが必要です。
人材という観点から見ると、必要な作業を遂行し、自信を持ち、サポートを求めるタイミングを知り、最高の品質で作業を完了することが求められます。

ナレッジシステム

トラブルの原因を真に理解し、排除または軽減するには、ドメイン知識とコンテキストデータが必要です。
例えば、前回のメンテナンスで起こった出来事（コンテキストデータ）と、それが真空システムの逸脱に与えた影響（ドメイン知識）を理解することです。

コラボレーション

企業間のコラボレーションとガバナンスの新たなレベルが求められます。これはサブファブ内のチーム間だけでなく、ファブ全体の多くの関係者で行われます。



Key Findings

このセクションを見る

Key Findings

集積回路の製造には、理論と実践の幅広い知識を持つ多様な専門家が関わっています。クリーンルームとサブファブでは必要なスキルが異なり、どちらも重要な役割を果たしています。

サブファブでは危険物質を扱うため、高度な専門性が求められます。多くのメンテナンスは現場外でも行われており、現場のスタッフは支援部署の技術者やエンジニアと連携して対応しています。こうした連携が、機器設計や課題解決に役立っています。
今後は現場との情報共有を深め、さらなる改善につなげていくことが重要です。

サブファブ機器メーカーは、支援部署の専門知識を現場サービス担当者が容易にアクセスできるように努めるべきです。

さらに詳しく

コラボレーションを増やす機会をさらに探るには、インフォグラフィック「クリーンルームとサブファブを連携させる5つの理由」をダウンロードしてください。

ダウンロード

クリーンルームとサブファブの比較：連携させる5つの主な理由 - Edwards Vacuum

環境メトリックへ

環境(Environment)

環境保護は、世界中の半導体サプライチェーン全体で最も急成長している業績指標の一つです。

循環型経済のビジネスモデルを取り入れることで、ファブは資源利用の最適化と廃棄物の再活用を図ることができます。これは持続可能な成長の鍵となります。

ビジネス価値領域

推奨事項

ビジネス価値領域

循環型ビジネスモデルは、真のビジネス価値を実現する必要があります。

調達 - コスト削減、無駄の排除、新市場への参入から得られる直接的な財務価値

環境 – エネルギー効率プログラム、戦略的な再生可能エネルギーの取り組み、温室効果ガスの排出削減、そして気候変動への対策を通じて、企業の持続可能性目標を達成します。

対応力 – 顧客のニーズをより満たす新しい製品やサービスによって生み出されます。また、リサイクルに対して金銭的インセンティブを提供する買戻しプログラムもユーザー価値を高めます。

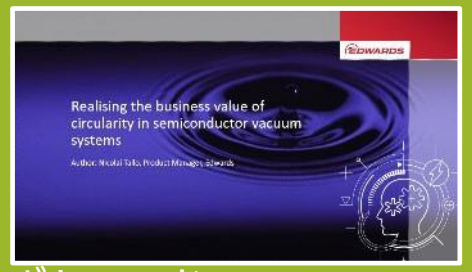
情報 – 顧客とのやり取りや製品の分析を通じて、循環型システムで得られるデータと知識の価値。持続可能性の目標に近づけるためや、競争優位性を得るために活用できるプロセスに関する具体的なデータ。

推奨事項

下記に示す循環型ビジネスモデルの実現には、製品寿命を延ばすための再製造・再利用・リサイクルが中核を成します。イノベーションに対するデータ主導のアプローチがそのすべてを支えています。

時間ベースのメンテナンス（*PM*)スケジュールから、機器監視と予測メンテナンス（*PdM*) および残存耐用年数*(RUL)*テクノロジを統合した状態ベースのメンテナンスプランに移行することで、ポンプの寿命を*25*%延ばすことに成功しました。

さらに詳しく



真空および除害システムにおける循環型の価値について、詳しくは電子書籍をダウンロードしてご覧ください。

ダウンロード

循環型経済のビジネス価値とは? - Edwards Vacuum

イノベーションハブでその他の記事をご覧いただけます

[イノベーションハブ - Edwards Vacuum]

Edwards © 2021. All rights reserved