

IAF・FAOPフォーラム2024

製造現場のみえる化を推進する SMKL指標について

スマート製造実現のため工場に適切なKPIを選定し、現状レベルをSMKL指標で簡単診断。目標レベルに向けて経営者、担当者、SIer、ベンダー、コンサルタントが費用対効果を考えながらPDCAで計画的に実現する方法の説明と、最近の取り組みをご紹介します。

2025年2月10日(月)

藤島 光城 (三菱電機(株))

Industrial Automation Forum(IAF) /SMKLプロジェクト主査



自己紹介

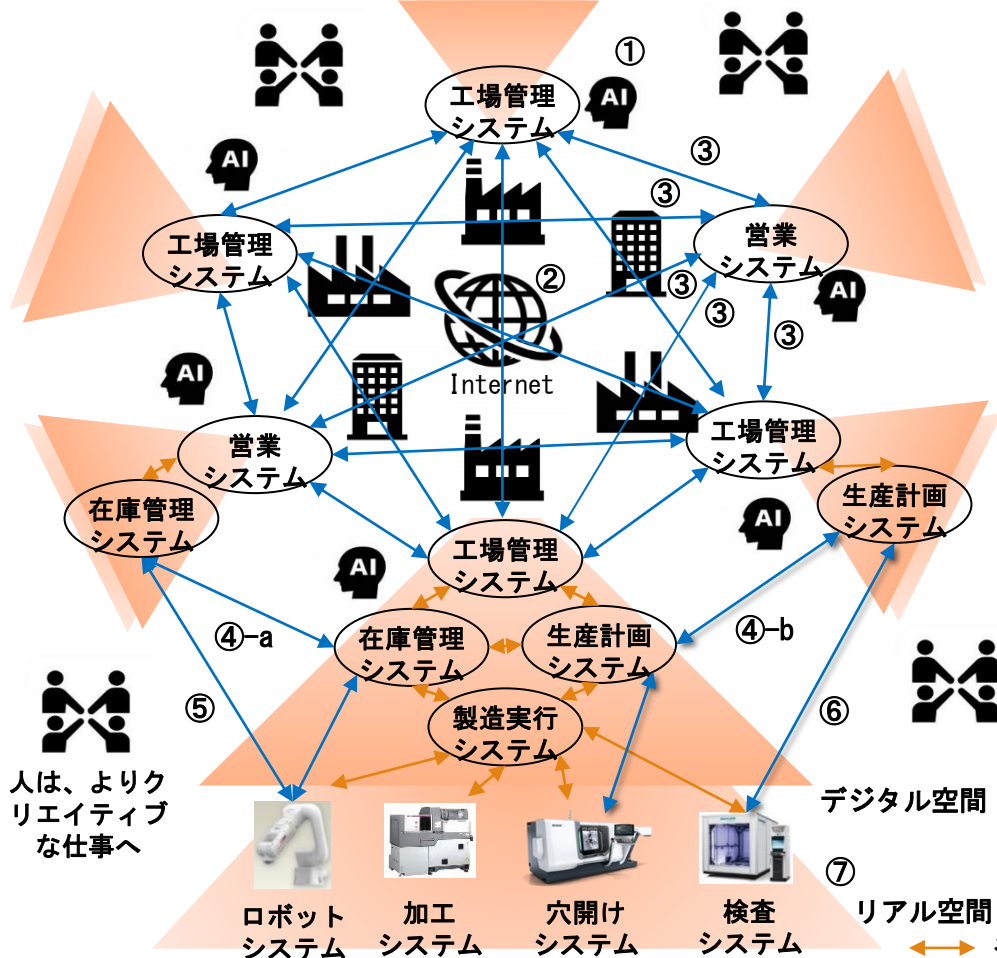
- ◆ 1993年三菱電機(株)入社 名古屋製作所でFA関連の設計・開発に従事
NC装置、ロボット制御装置、安全シーケンサ、現在：開発部規格標準化推進グループマネージャー
- ◆ **国際標準化**
 - <スマート・マニュファクチャリング関連>
 - IEC/TC65/WG16(Digital Factory)国際/国内委員
 - IEC/TC65/JWG21(Smart Manufacturing Reference Model(s) linked to ISO/TC 184) 国際/国内委員
 - <フィールド・ネットワーク関連>
 - IEC/SC65C/WG12(Functional Safety for Fieldbus)国際/国内委員
 - IEC/SC65C/MT9(Fieldbus maintenance)国際/国内委員
 - IEC/SC65C/JWG10(Industrial Cabling)国際/国内委員
- ◆ **コンソーシアム (国内)**
 - IAF(インダストリアル オートメーション フォーラム)/運営委員会、/CLiC委員/SMKLプロジェクト主査
 - FAOP(FAオープン推進協議会)/MESX研究会 (生産システムの効率的な連携の検討) 委員長
 - RRI(ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会) WG1/標準化AG1委員、AG4_TF1委員、SyC_SM国内委員
 - IVI(インダストリアル バリューチェーン イニシアティブ協議会)委員
 - OPC Foundation 三菱電機窓口
 - HCMiコンソーシアム (Human-Centric Manufacturing Innovation) /BC部会/研究開発部会委員
 - GxDコンソーシアム 価値化WG/データ要件検討SWGリーダー
- ◆ **大学関連**
 - 東工大MOT標準化戦略実践コース 講師(2019/7～)
 - 早稲田大学嘱託 (2020/6～) IONL委員
 - 北九州工業高等専門学校「第4次産業革命ものづくりマネジメントビジネススクール」 講師(2023/2～)

目次

- ◆ SMKLの基本説明
- ◆ SMKLの活動状況
- ◆ まとめ

企業の枠を超えてシステム間でリアルタイムにデータ連携される状態

グローバル *DX, 14.0, IoT, Digital Twin, Connected Industry, SDGs, Society5.0, etc...*



- <あるべき姿>
- ① 24時間365日リアルタイムに受発注するシステム構築が可能。自動契約・自動発注(AI等)技術と組み合わせる事で更に効率化が可能
 - ② グローバルな通信はインターネット、本規格で規定するプロトコルによりシステム間連携の共通手段を提供
 - ③ ②によりグローバルで多くの工場・企業と本規格で繋がることで受託先システムのフレキシブルな変更が可能(BCP対策)
 - ④ 他工場、他企業との在庫管理システム連携によるa) 適正在庫化、及びBCP対策(コロナや震災対応)、b) 生産計画システム間のリアルタイム連携による効率的なジャストイン・ジャストアウト生産
 - ⑤ 予知保全などと連動した保守パーツの自動発注が可能
 - ⑥ 他工場の遊休システムや設備、人材との連携により生産計画のボトルネックを解消
 - ⑦ 生産活動における環境KPIデータ(消費電力、炭素や温暖化ガス排出量)の見える化が進み、製造現場のリアルシステムからデジタルシステムまで、グローバルでの連携が容易となり、改善活動を通じてSDGs(No. 9, 8, 12)、低炭素社会に貢献

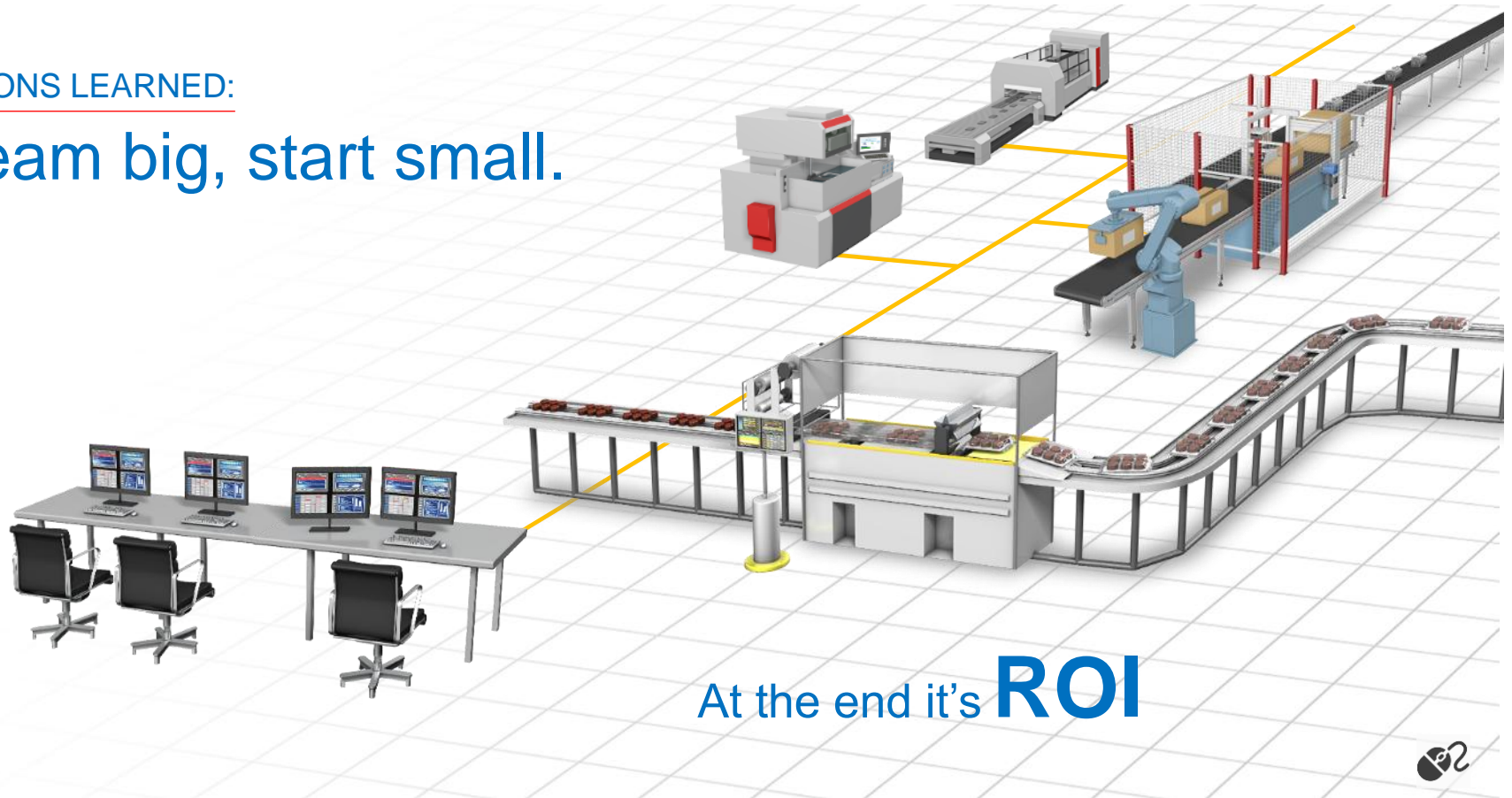
資料ソース: FAOP/「生産システムの効率的な連携の検討」研究会

SMKLで解決する課題

I4.0、産業IoT、製造DXをどうやって進めるか？
 とりあえずデータを集めてみたけど、**投資に見合う効果**を出すには？

LESSONS LEARNED:

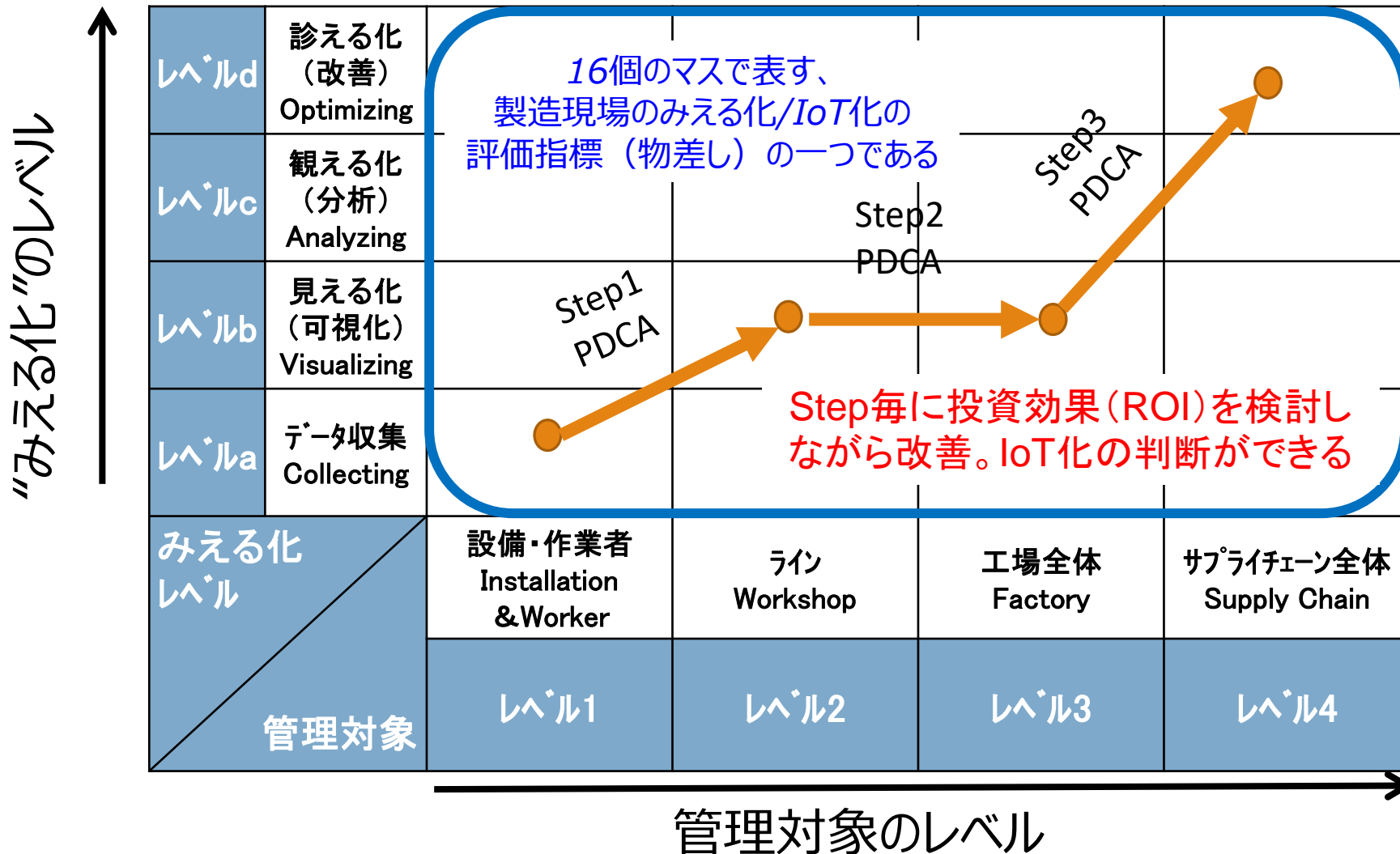
Dream big, start small.



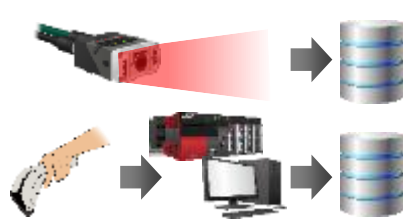

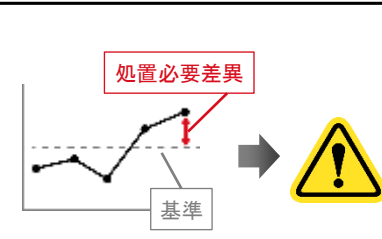
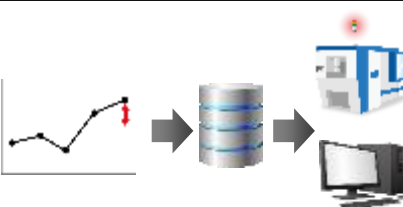
At the end it's **ROI**

ROI: Return on Investment

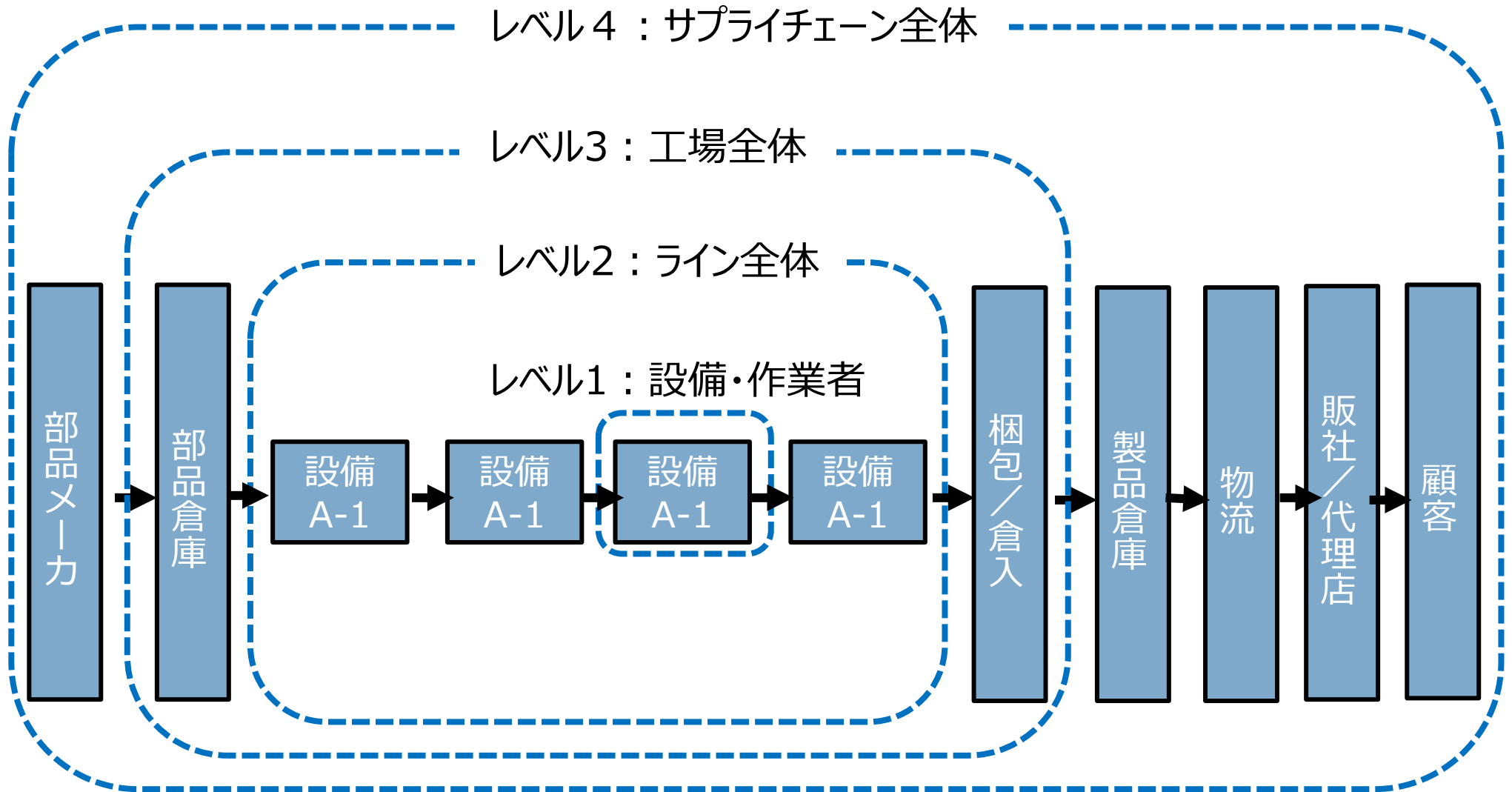
SMKLとは？



SMKL“見える化”のレベルの定義

「見える化」レベル		評価基準	例
レベルa	データ収集 Collecting	<ul style="list-style-type: none"> 自動、若しくは作業者によるバーコードスキャン等の簡易操作で、管理に必要なデータを電子的に自動収集、蓄積している。 ※手書き日報等のエクセル等への入力対象外。 	 <ul style="list-style-type: none"> データベース管理 CSV等のファイル管理
レベルb	見える化 (可視化) Visualizing	<ul style="list-style-type: none"> レベルaのデータ、及び目標(基準)データを表やグラフで自動表示できる。 ※データを手動でダウンロードし、表やグラフをエクセル等で、都度作成する場合は対象外。 	 <ul style="list-style-type: none"> リスト表示 グラフ (ヒストグラム、トレンド)
レベルc	観える化 (分析) Analyzing	<ul style="list-style-type: none"> レベルbの状態に、基準や目標データも自動表示され、差異の確認ができる。 且、差異に対し処置を必要とする差異に対しては、関係者に処置を促す通知を自動で行う。 	 <ul style="list-style-type: none"> 工程飛び管理 工程忘れ管理 処置警告
レベルd	診える化 (改善) Optimizing	<ul style="list-style-type: none"> レベルcの処置を必要とする差異を抑制するために、人、設備、物に対し、自動的にフィードバックを行う。 	 <ul style="list-style-type: none"> AI活用

SMKL「管理対象」の定義



産業用 Key performance indicators (ISO22400)

- KPI

- 34 KPI definition on this standard (Part2 9.1~9.35)

✓ Efficiency indicators	9	効率
✓ Quality indicators	9	品質
✓ Capacity index	4	能力
✓ Environmental indicators	1	環境
✓ Inventory management indicators	6	在庫
✓ Maintenance indicators	5	保守

ISO22400-2

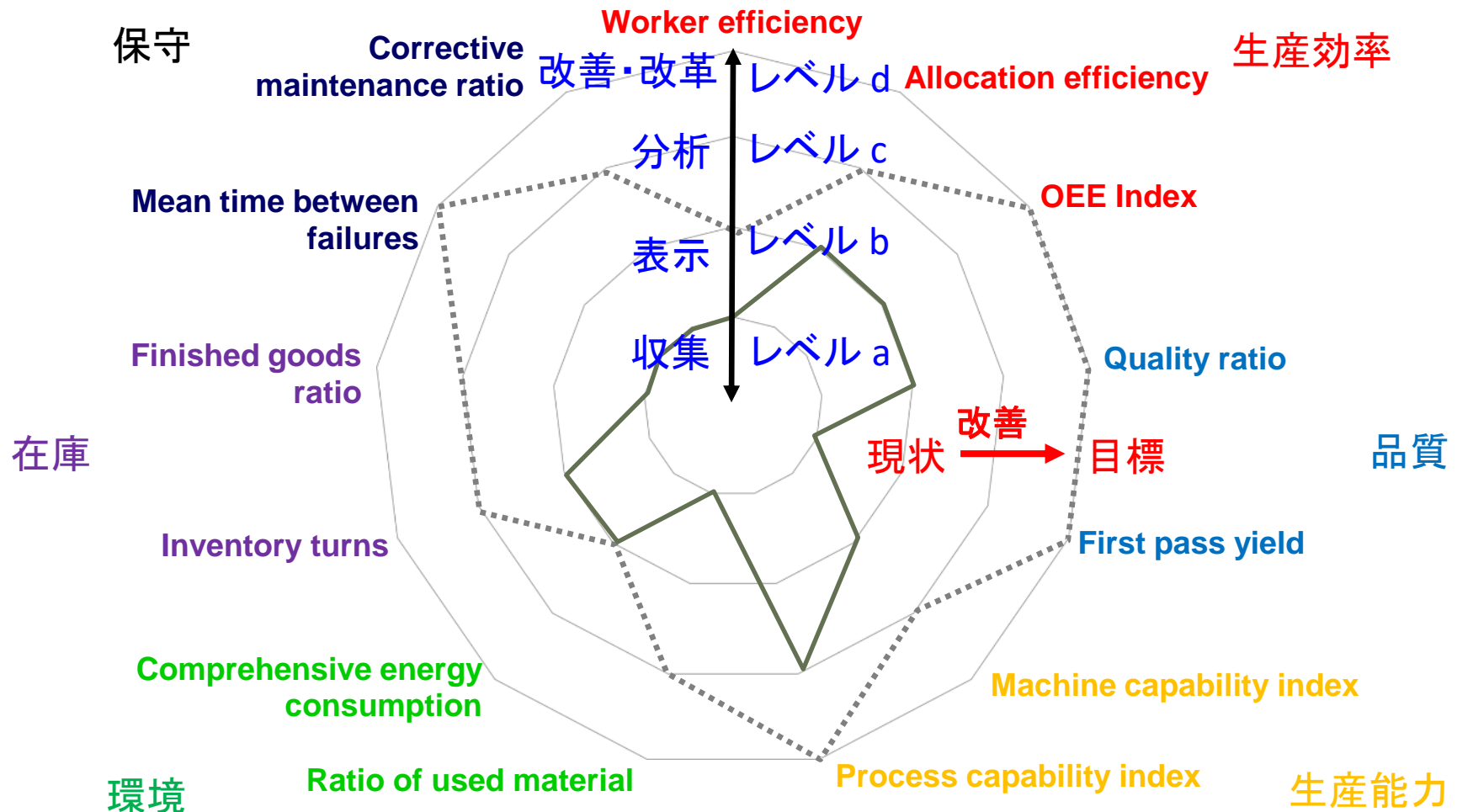
設備→ラインや工程→工場→企業→企業間で、統一したものさしで評価が可能

SMKLでみえる化する情報

- 1) Worker efficiency (労働生産性効率)
- 2) Allocation ratio (負荷度)
- 3) Throughput rate (生産量比率)
- 4) Allocation efficiency (実稼働/稼働計画 比率)
- 5) Utilization Efficiency (利用効率)
- 6) OEE Index (設備総合効率)
- 7) NEE Index (正味設備効率)
- 8) Availability, (設備有効性)
- 9) Effectiveness (工程効率)
- 10) Quality ratio (品質率; 良品率)
- 11) Setup ratio (段取率)
- 12) Technical usage level (設備保全利用率)
- 13) First pass yield (直行率)
- 14) Scrap degree (廃棄度合)
- 15) Scrap ratio (廃棄率)
- 16) Production process ratio (工程利用率)
- 17) Rework ratio (手直率)
- 18) Fall-off ratio (減衰率)
- 19) Machine capability index (機械能力指数: Cm)
- 20) Critical machine capability index (クリティカル機械能力指数: Cmk)
- 21) Process capability index (工程能力指数: Cp)
- 22) Critical process capability index (クリティカル工程能力指数: Cpk)
- 23) Comprehensive energy consumption (総合エネルギー消費量)
- 24) Inventory turns (在庫回転率)
- 25) Finished goods ratio (良品率)
- 26) Integrated goods ratio (総合良品率)
- 27) Production lost ratio (製品廃棄率)
- 28) Storage and transportation lost ratio (在庫輸送廃棄率)
- 29) Other lost ratio (その他廃棄率)
- 30) Equipment load rate (設備負荷率)
- 31) Mean operating time between failures (平均故障間隔)
- 32) Mean time to failures (平均故障時間)
- 33) Mean time to repair (平均普及時間)
- 34) Corrective maintenance ratio (改良保全率)

SMKL みえる化レベル レーダーチャート

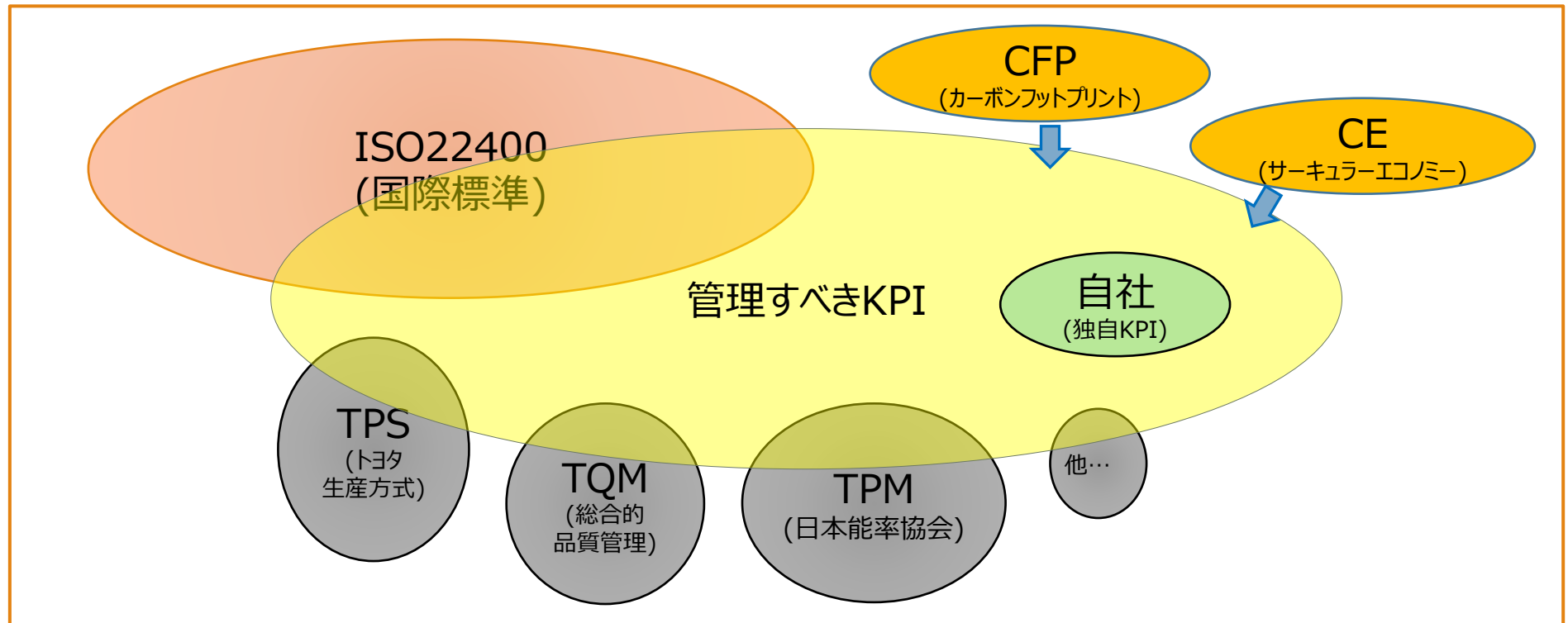
現状のみえる化レベルを診断し、目標を設定し、投資効果を検討して、改善活動を実施する
全てのKPIのみえる化で100点満点を取る必要はない



生産活動で管理すべきKPIについて

経営視点・現場改善視点で有効なKPIから（役立つものから）取り入れていく。

- 1) 世界の工場を繋げる為には国際標準であるISO22400のKPIを最初に検討する
- 2) その業界や取引のマネジメントに必要なKPIを選定する（TPM、TPS、TQM、CFPなど）
- 3) 上記 1) 2) に無いKPIは自社で独自に定義してみえる化する



自社にとって必要・重要・有効なKPIをみえる化する（費用対効果）

SMKL活用事例（設備設計者その1）

SMKLを用いて、工場のIoT化の成熟度レベルを評価し、
設備改善の方向性を検討する



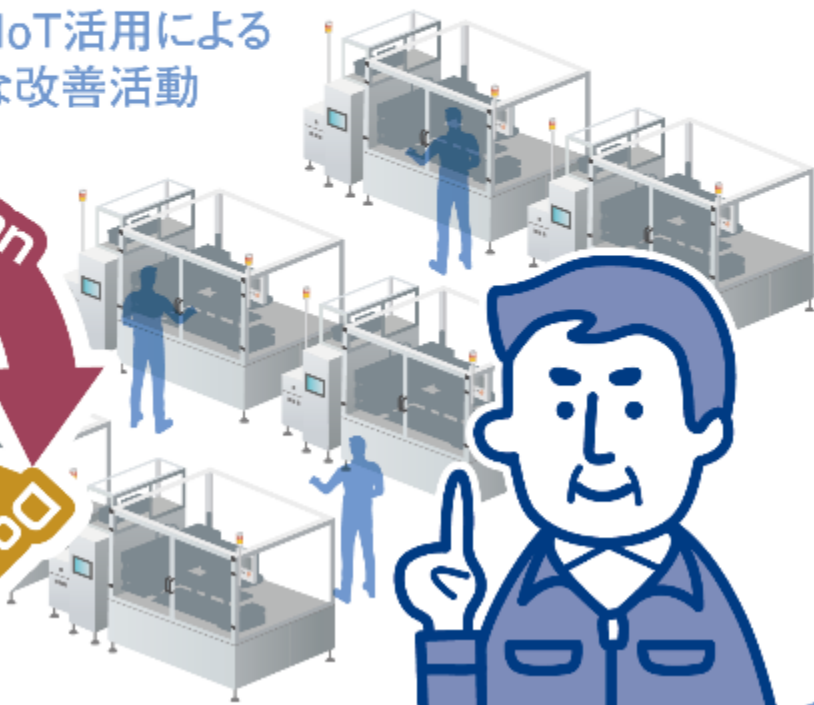
どうやって
設備改善しよう？

どこに課題があるのか
現状分析の指標がほしい

SMKLで現状設備のIoT化を評価し
レベルUPに必要な改善をしよう！

工場設備のIoT活用による
継続的な改善活動

SMKL



SMKL活用事例（工場経営者）

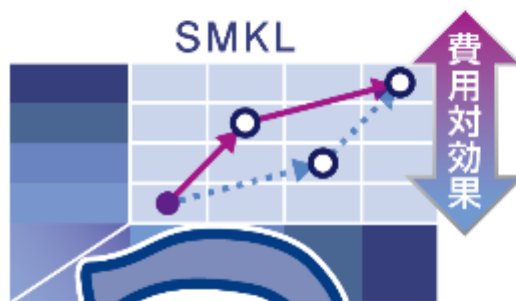
重要経営管理指標のKPIに基づいたSMKLを用いて、工場のIoT成熟度レベルを評価し、費用対効果の高い管理情報や設備からIoT化し、将来的に収益の高いスマート工場を実現する

どうやって
会社の収益を上げよう？



一気にIoT化するには
費用がかかりそうだし...

KPIに基づいたSMKLの見える化で
費用対効果を考慮しながら工場を改善！



KPI 国際標準：ISO22400

- | | |
|---|------------|
| 大 | 設備総合稼働率 |
| □ | 品質率 |
| □ | 総合エネルギー消費量 |
| 小 | 設備平均故障間隔 |
| | ⋮ |

将来的にスマート工場を実現して
収益を上げよう！

SMKL活用事例 (ベンダー-営業マン)

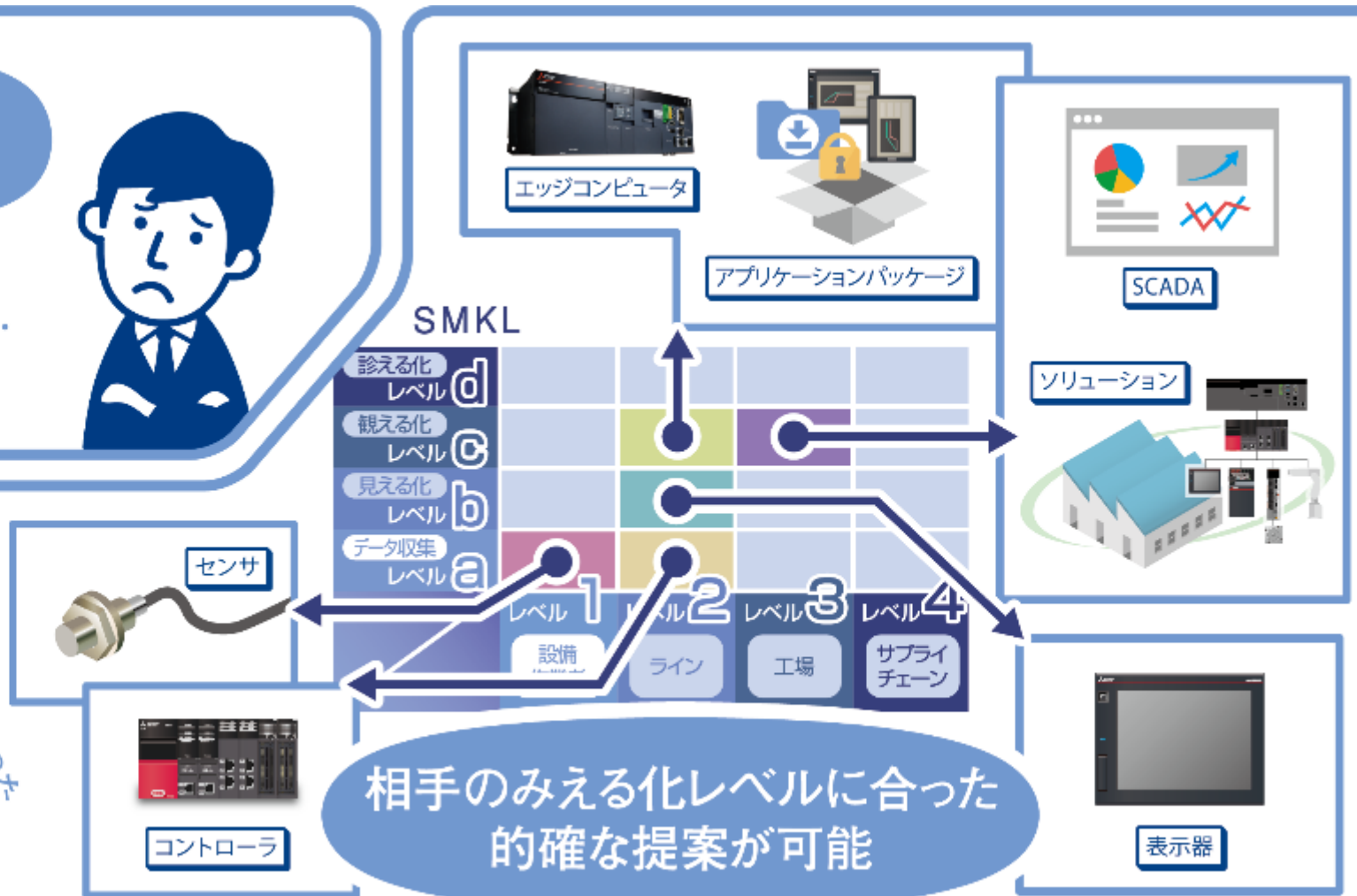
お客様のIoT化の成熟度レベルに合わせて、
代理店、販売店によるIoT製品販売への商談活用が可能

IoT 製品って
どうやって売ろう?

ユーザーにとっての
メリットをPRしたいけど...



お客様に合った
見える化を提案



相手の見える化レベルに合った
的確な提案が可能

SMKL活用事例（製品開発＆設計者）

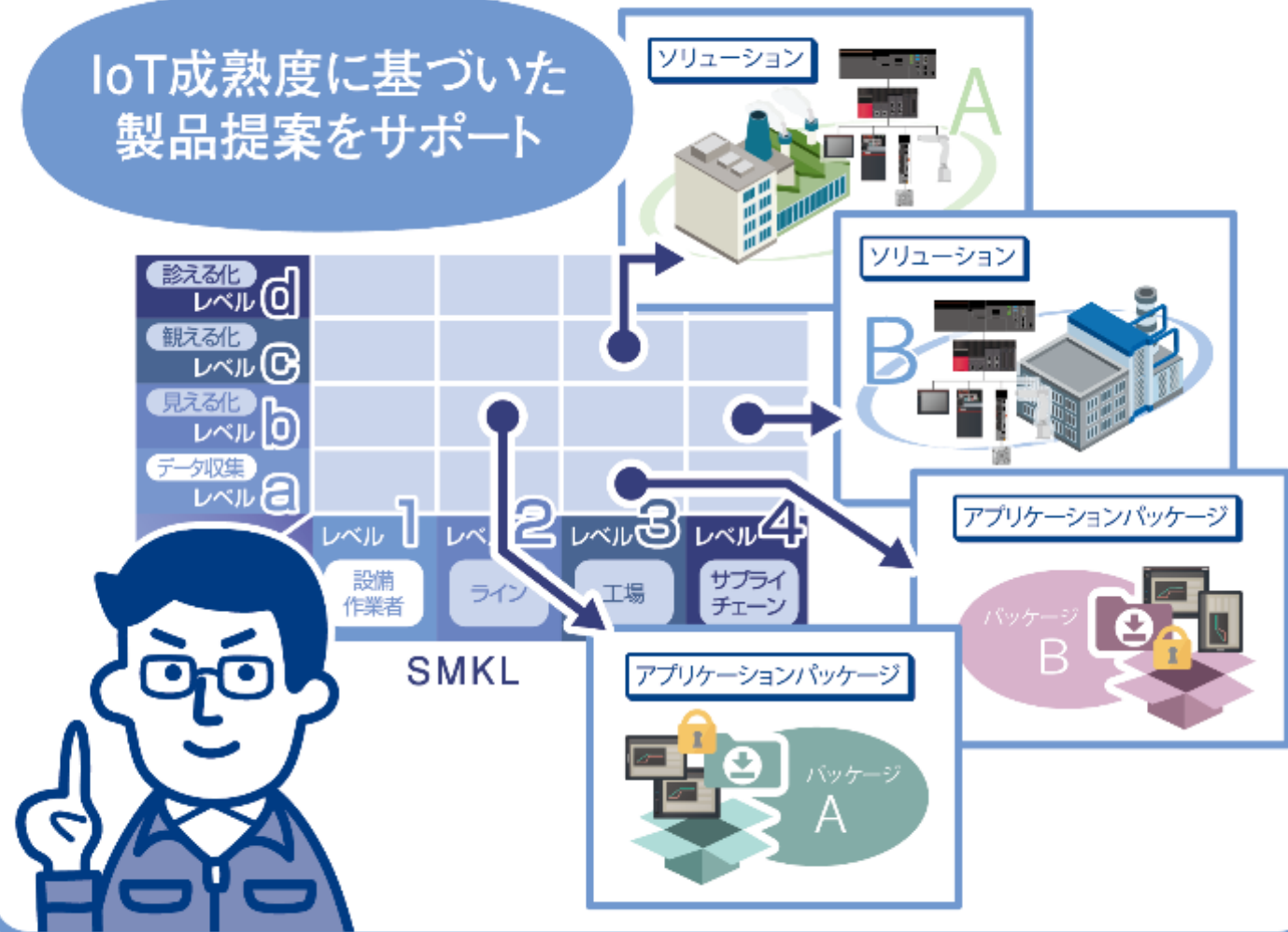
お客様のIoT成熟度レベルに合った、機能や製品、ソリューションを新たに提案可能
漏れやダブリなく、また、単独ではできない提案はパートナーと組む戦略も検討

どんな製品を
提案しよう？



IoT化を図るユーザーの
ニーズを捉えたい

IoT成熟度に基づいた
製品提案をサポート



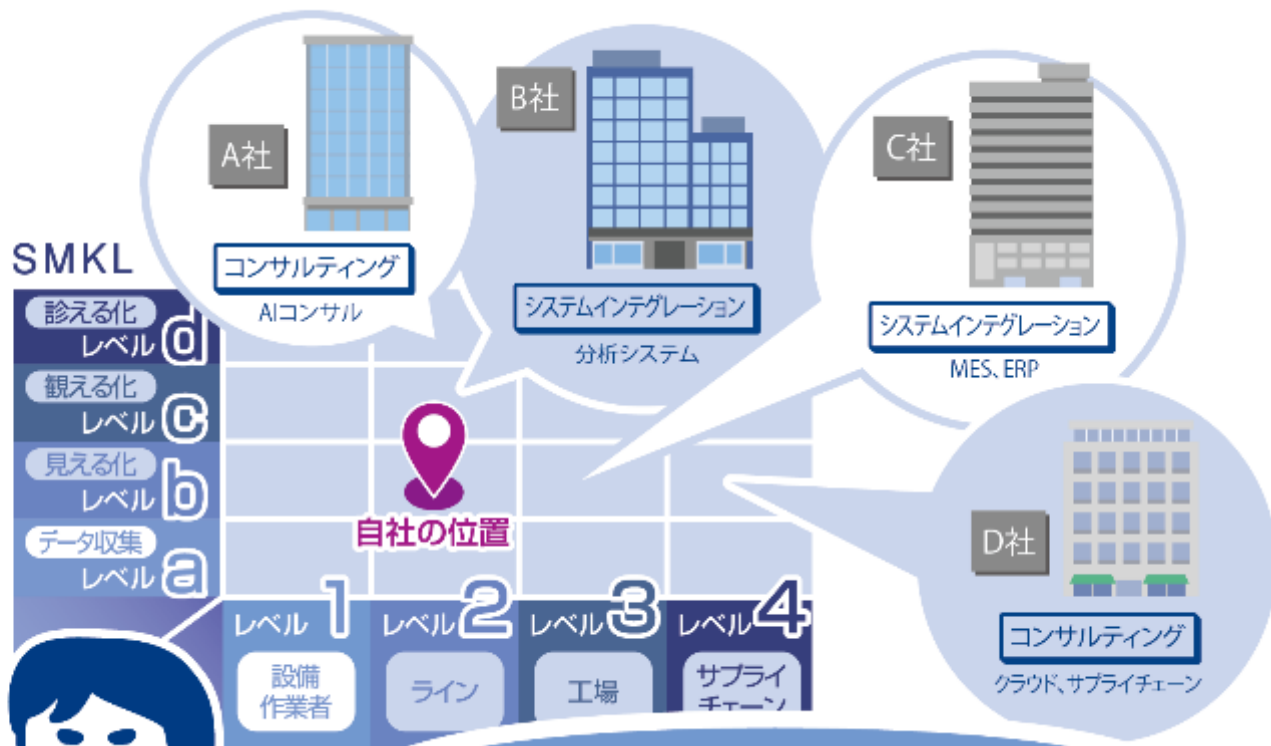
SMKL活用事例（設備設計者その2）

お客様のIoT成熟度レベルに合った、IoT化事例を検索し、
請負可能なコンサルティングや、システムインテグレータ(SI)を紹介（将来構想）

誰に相談しよう？



自社にマッチしたIoT化の提案をしてほしい

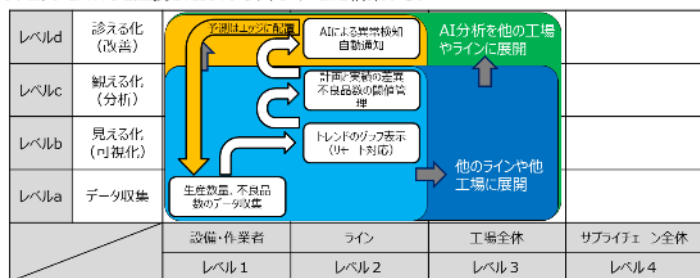


SMKLで診断したレベルを基準に
適したコンサルやSIを探そう!

SMKLベンダー活用事例（各社）

SMKLベンダー活用事例（AWS様）

閾値管理では対応できない設備故障や品質異常へのAI利用
 課題例）設備稼働率の向上；設備の異常を事前に把握し、生産量や良品数を向上したい
 管理項目例）生産量、良品数、設備稼働率
 蓄積したデータを利用したAIモデルの学習にはクラウドを利用し、学習済みモデルを使った予測はエッジで行うよう、エッジとAWSを連携したIoTプラットフォームを構築する。



※資料ソース：工場のスマート製造化を加速化する KPI を用いた SMKL (Smart Manufacturing Kaizen Level) に関する白書

＜資料ソース＞「工場のスマート製造化とDXにおけるAWSの活用」 2021年9月8日オンラインセミナー
 アマゾンウェブサービスジャパン株式会社 パートナーアライアンス統括本部 ISVパートナー本部製造業担当 柳澤 政夫 様



SMKLベンダー活用事例 (味の素エンジニアリング様)

データを集める

IAF/SMKLプロジェクト
 15th NOV. 2021



＜資料ソース＞味の素エンジニアリング株式会社 ソリューション事業部 トンジンエンジニアリング事業部 電装システム部 渡辺 秀治 様

SMKLベンダー活用事例（アドソル日進様）

分析・予測とカイゼン活動へのフィードバック



単に見える化するのではなく

いまだのような状態なのか
 なにから着手すべきか

SMKL指標を
 取り入れています

SMKL指標
 出典(IAF)にて検討:

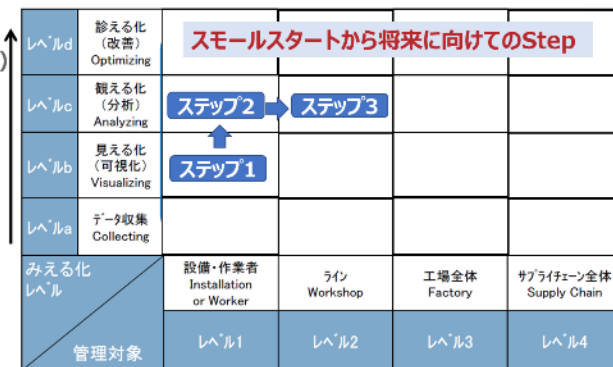
工場のスマート製造化を“見える化”するKPIを用いたSMKL
 (Smart Manufacturing Kaizen Level)に関する白書
 ~工場導入編~

Copyright © 2021 AdSol Nissin Corporation. All Rights Reserved.
 ＜資料ソース＞アドソル日進株式会社 デジタル・イノベーション事業部 事業部長 村上 佳史 様

SMKLベンダー活用事例（立花エレクトック様）

◆SMKLを活用した提案
 (Smart Manufacturing Kaizen Level)
 工場のデータ活用の度合いを見える化
 16個のマスで表す製造現場のIoT化
 (見える化/管理対象)の評価指標

スモールスタートから将来ビジョンを描き
 ステップ1～3で提案



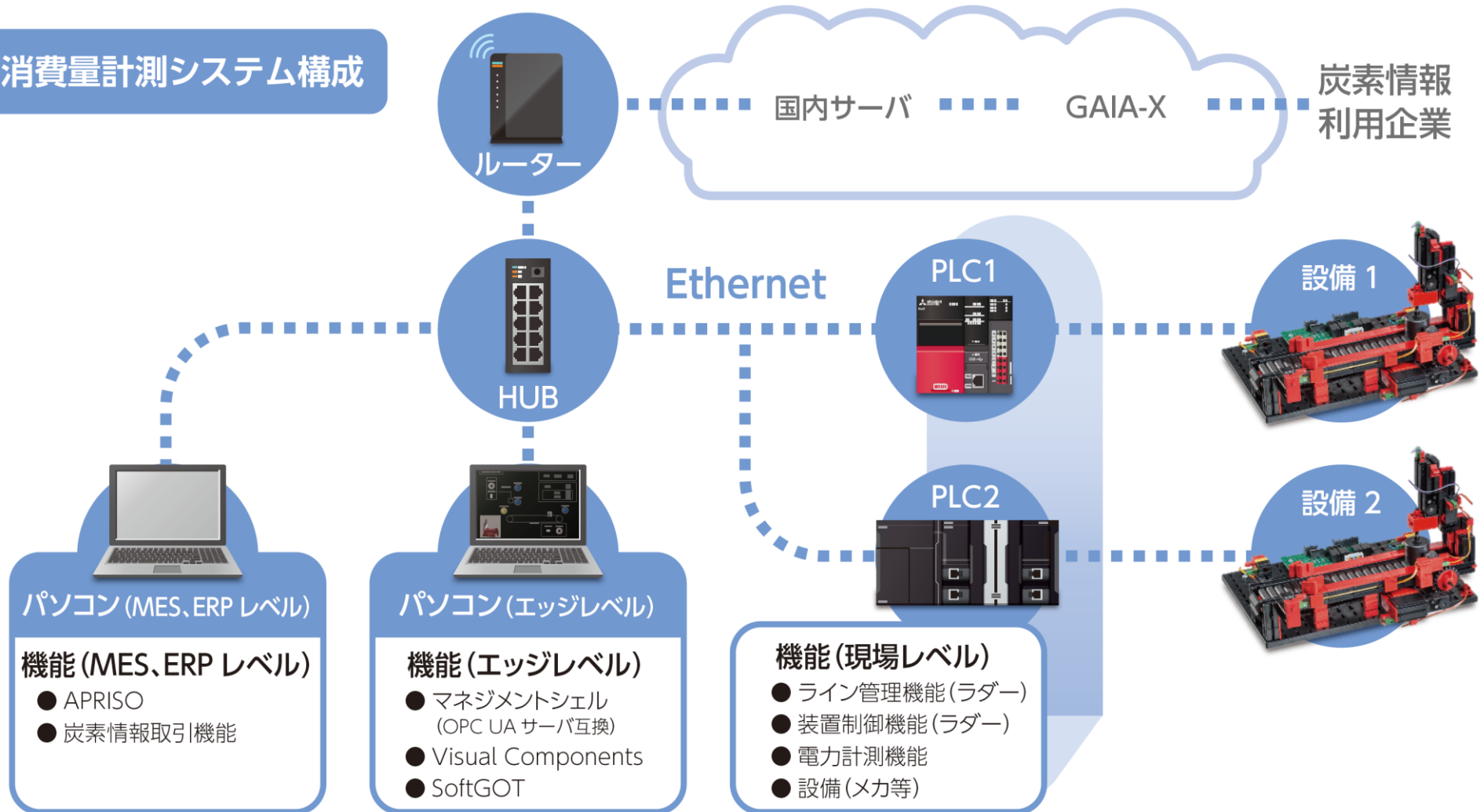
管理対象のレベル

- ◆ SMKLの基本説明
- ◆ SMKLの活動状況
- ◆ まとめ

SMKL事例（炭素排出量計測）

IIFES2022/24展示会でのIAFによるデモシステム概要

炭素消費量計測システム構成



炭素排出量のみえる化(レベル・ゼロ)

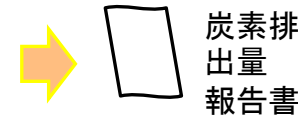
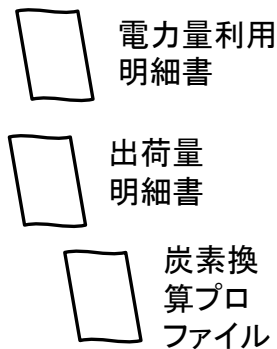
<手計算方法>

設備投資費用をかけられない場合は、月単位で「工場全体」の総合エネルギー消費量(電力会社の利用明細など)と生産量(出荷量明細)から製品単位のエネルギー量を割り出す(式1)

また、このエネルギー量と炭素量の換算プロフィール(電力会社等から入手)から製品単位の平均的な炭素量を手計算する

$$e = E / PQ \dots\dots\dots \text{式1(ISO22400参照)}$$

- e: 製品単位のエネルギー消費量
- E: 総合エネルギー消費量
- PQ: 生産量



レベルd	診える化(改善) Optimizing				
レベルc	観える化(分析) Analyzing				
レベルb	見える化(可視化) Visualizing				
レベルa	データ収集 Collecting				
みえる化 レベル	管理対象	設備・作業者 Installation & Worker	ライン Workshop	工場全体 Factory	サプライチェーン全体 Supply Chain
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4

①レベル(0)
手計算

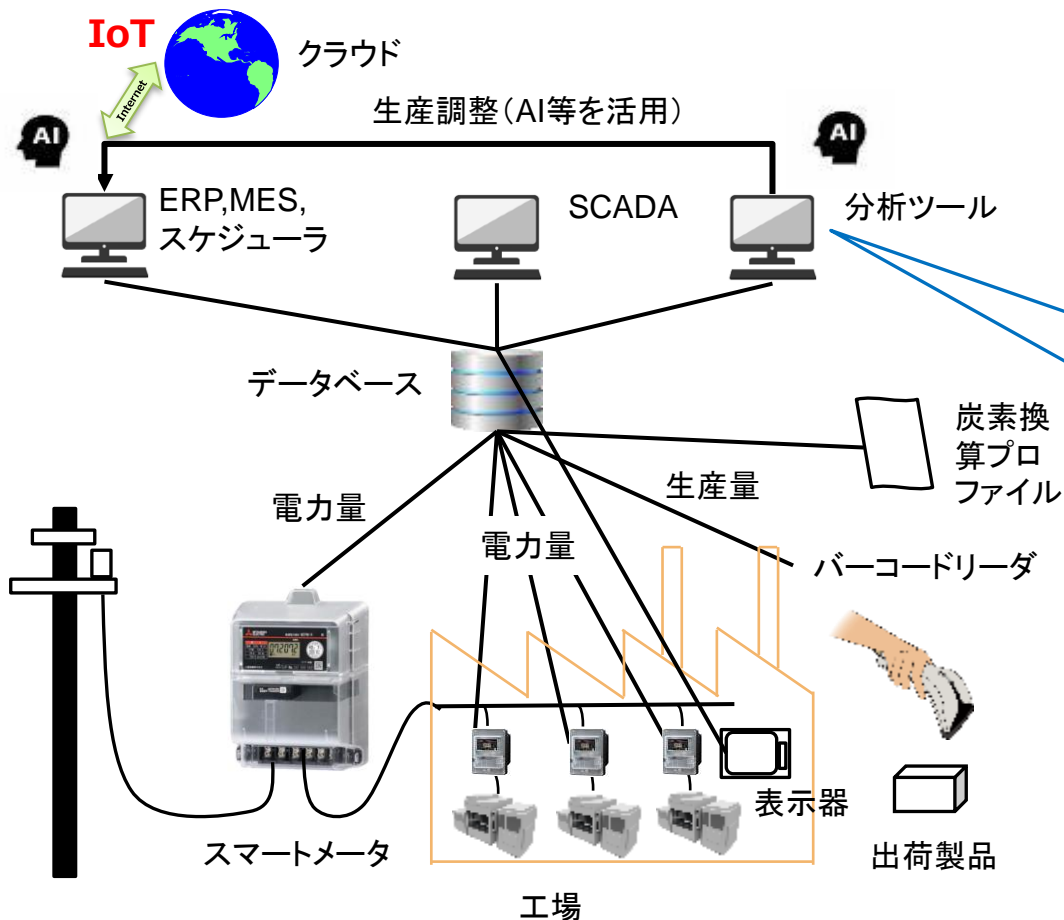
<補足>

・自動化やIoT化が進んでいない小規模工場や、他の業種・業界も多くあり、このような方法での炭素排出量計算も認められるべき
(自動車業界など条件が厳しい場合は?)

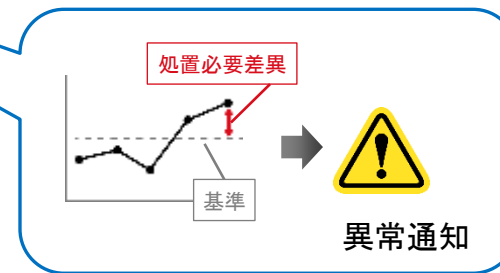
炭素排出量のみえる化(レベル1b~4d)

＜クラウドへの接続＞

グローバルなクラウドへ接続(GAIA-Xなど)して炭素排出情報を取引企業へ伝達する。



レベルd	診える化 (改善) Optimizing	⑥レベル1a~3a 自動改善			④~⑥ レベル2b~4d クラウドでの みえる化
レベルc	観える化 (分析) Analyzing				
レベルb	見える化 (可視化) Visualizing				
レベルa	データ収集 Collecting				
みえる化 レベル		設備・作業者 Installation & Worker	ライン Workshop	工場全体 Factory	サプライチェーン全体 Supply Chain
管理対象		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4



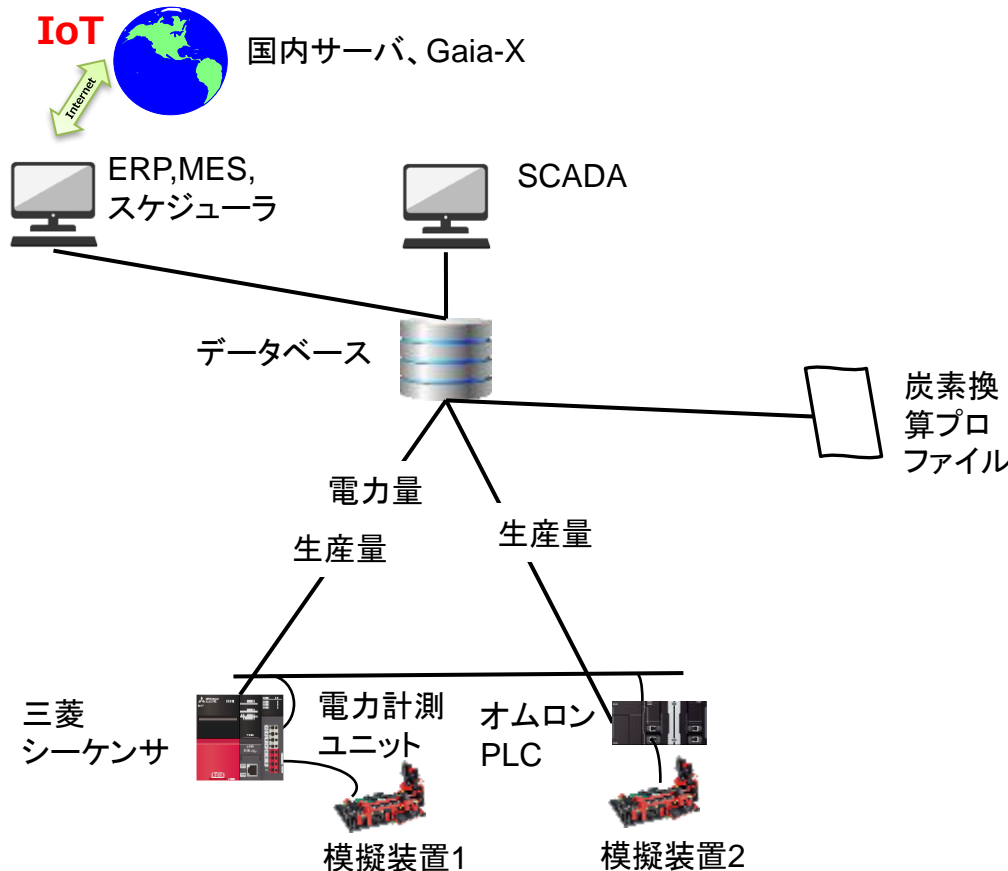
＜補足＞

単にクラウドに接続するだけでなく、炭素排出量に関してクラウドでの可視化、分析、改善きるような新たなサービスが今後期待できると考える。

炭素排出量のみえる化(IIFESデモ展示)

<製品単位の可視化>

SCADAや製造現場の表示器などでリアルタイムに製品単位やロット単位で炭素排出量を自動表示。また欧州クラウド(GAIA-Xなど)へ接続する。



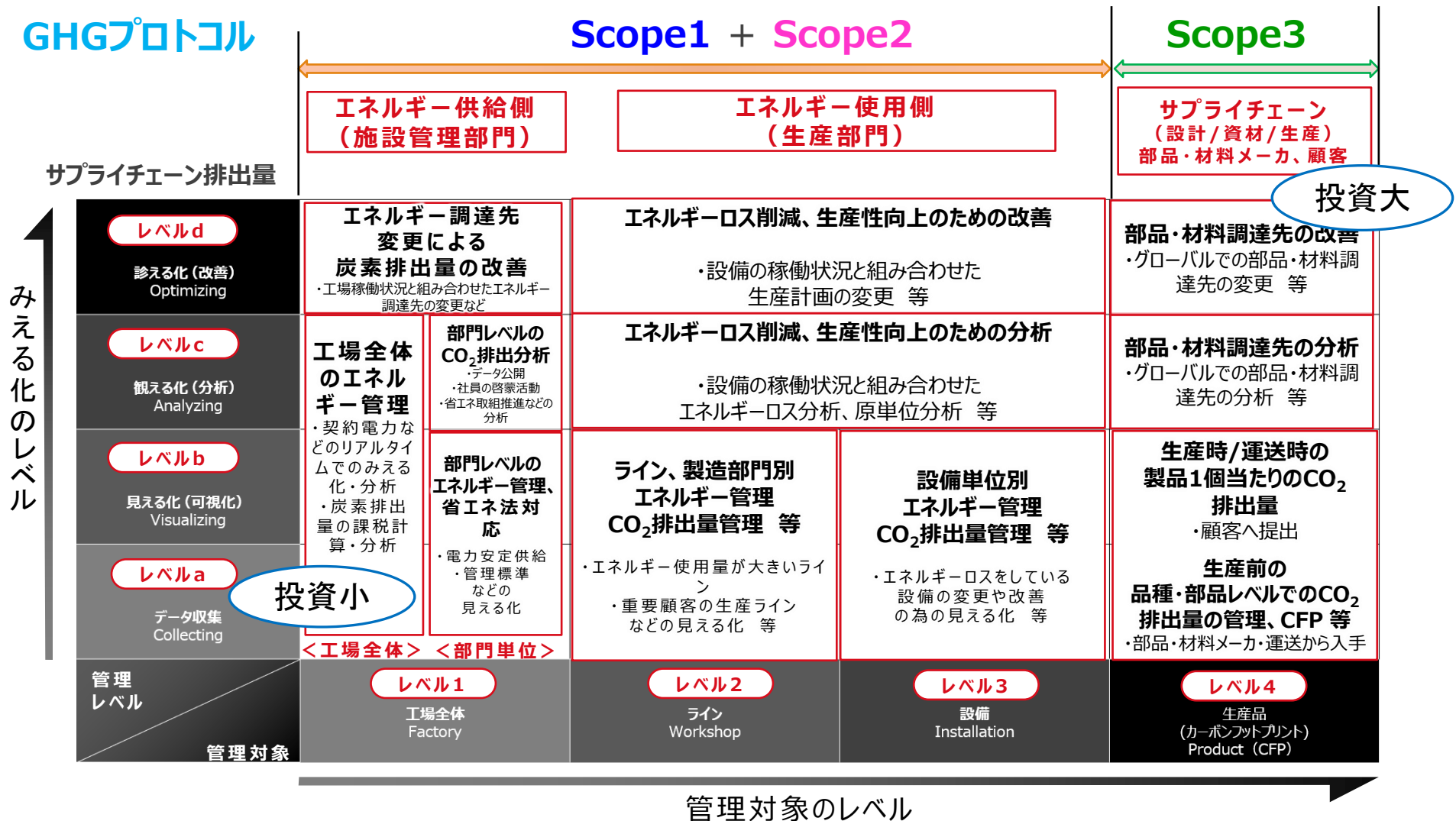
レベルd	診える化 (改善) Optimizing				
レベルc	観える化 (分析) Analyzing				
レベルb	見える化 (可視化) Visualizing	④レベル1a~3a 製品単位の可視化			④~⑥ レベル1b~4b クラウドでの みえる化
レベルa	データ収集 Collecting	④レベル1a~3a 製品単位の可視化			
みえる化 レベル	設備・作業者 Installation & Worker	ライン Workshop	工場全体 Factory	サプライチェーン全体 Supply Chain	
	管理対象	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4

<補足>

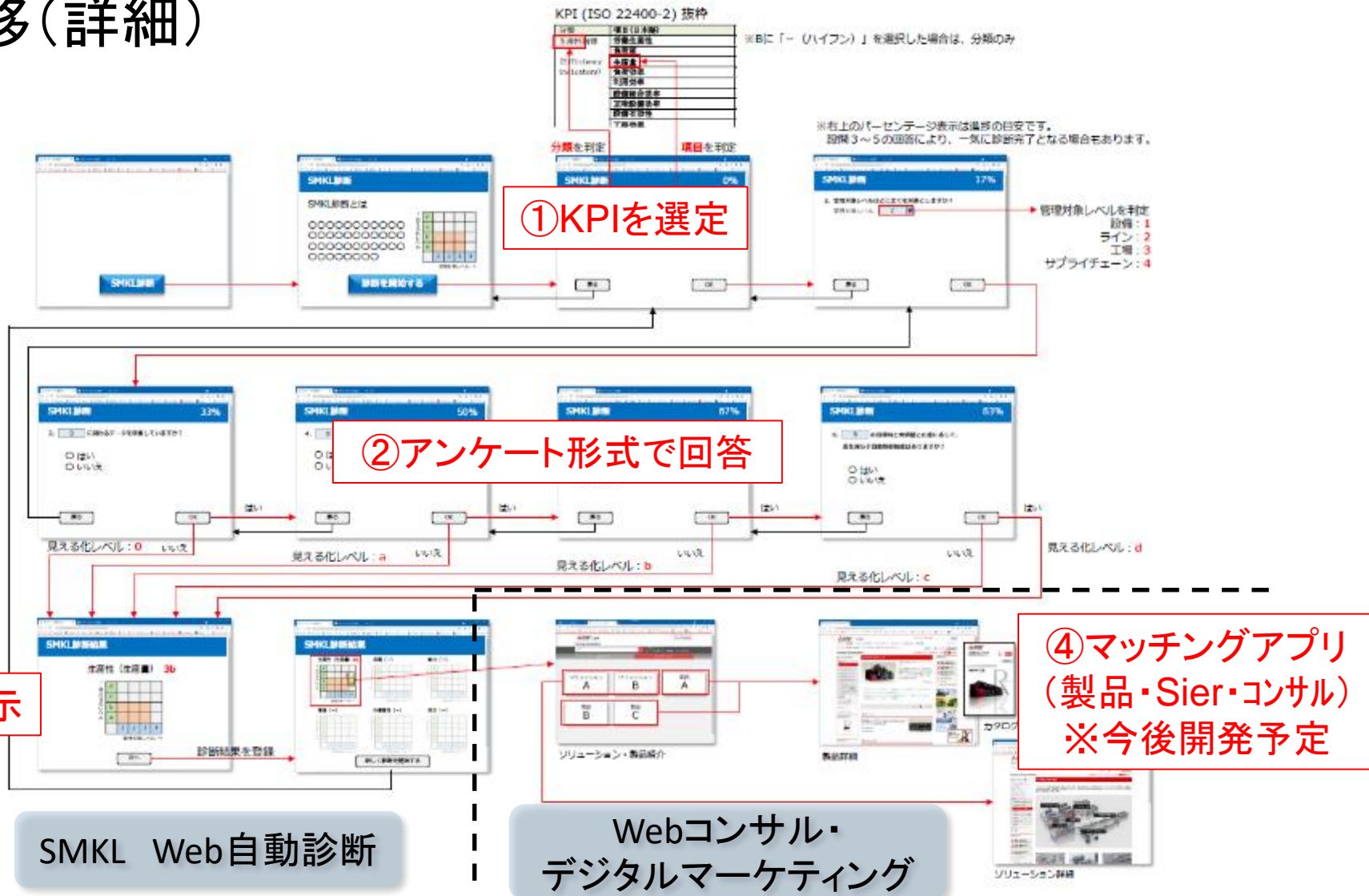
工場は模擬装置やPLCを使い電力量を収集。

SMKL事例 (炭素排出量計測)

SMKLを使ったカーボンニュートラル(CN)の分類について



画面推移(詳細)

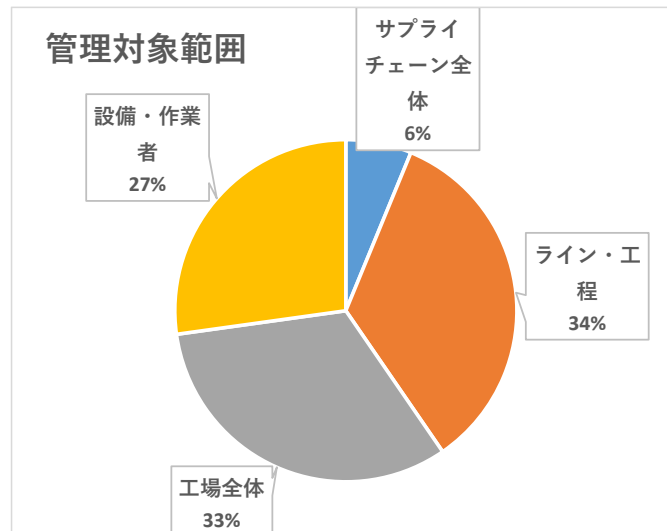


◆ SMKL簡易分析結果グラフ('22/7~'23/7、443件)

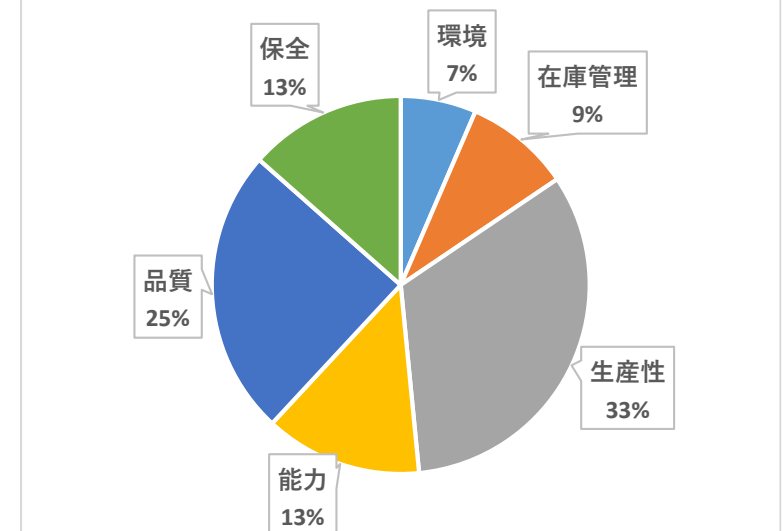
みえる化

診える化 (改善)	d	18	15	1	6
観える化 (分析)	c	5	34	17	1
見える化 (可視化)	b	25	79	37	17
データ収集	a	42	18	86	3
なにもしていない	0	35	3	0	1
みえる化 レベル		1	2	3	4
	管理対象	設備・作業 者	ライン・工 程	工場全 体	サプライチェーン 全 体

管理対象

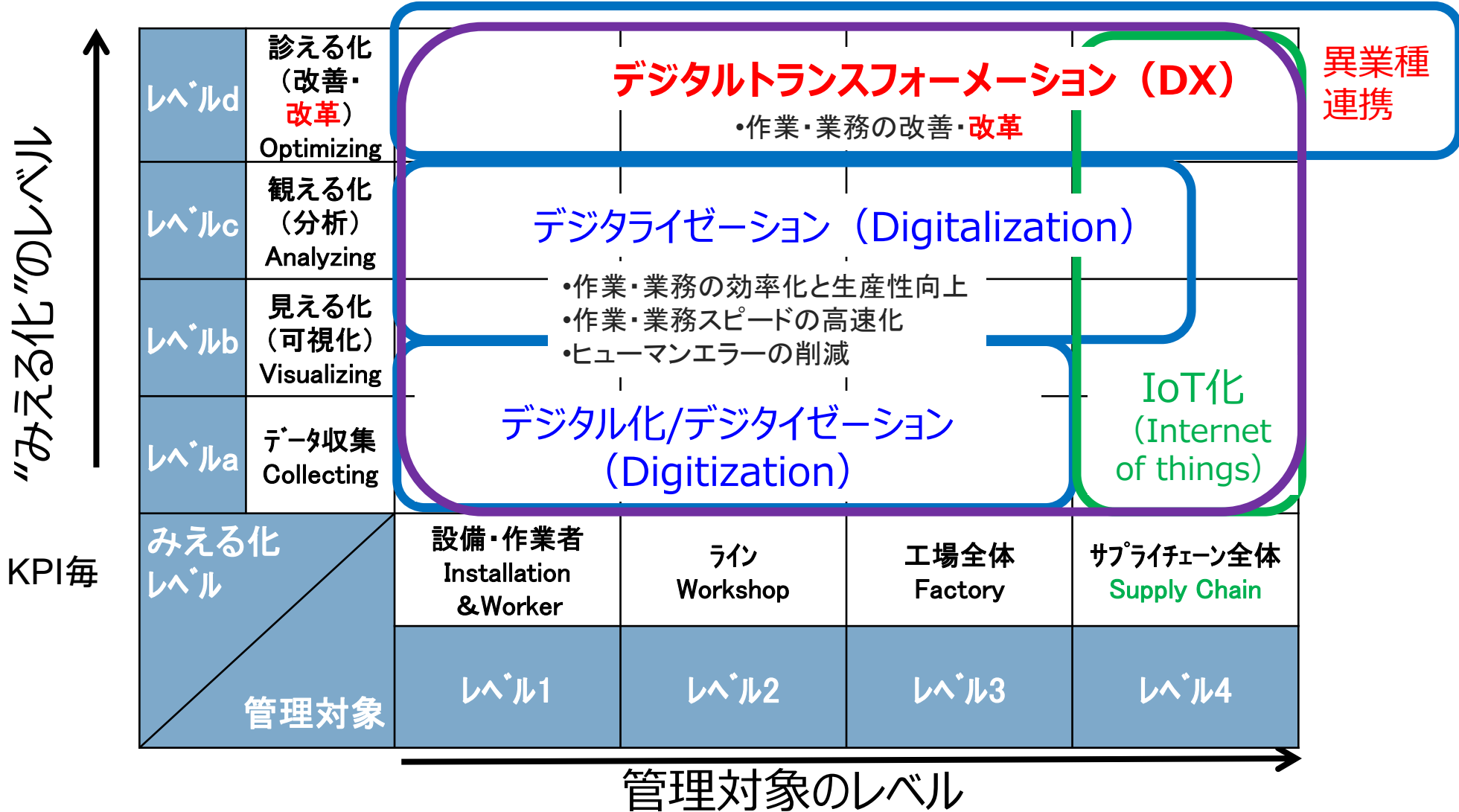


KPI(大項目)

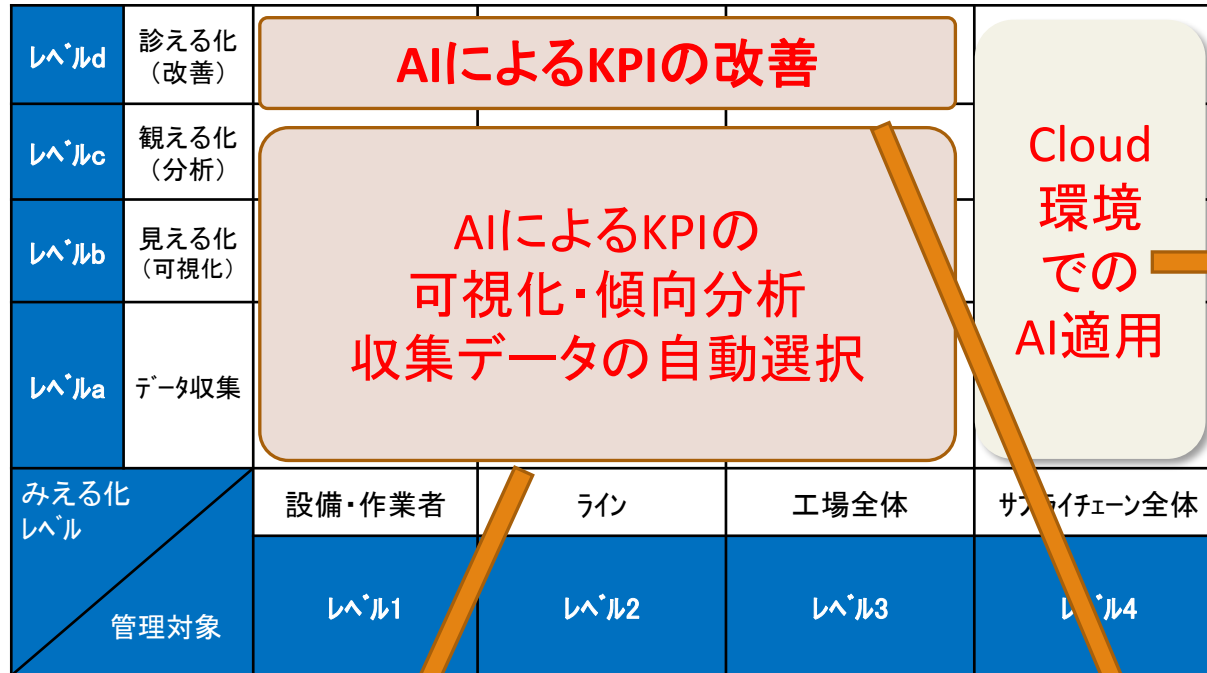


SMKLと製造DXについて

スマートファクトリー/スマートマニュファクチャリング (Smart Factory/Smart Manufacturing)



SMKLへの製造AIマッピング



CloudでのAI活用(DX)

- ・製造DX実現の為の他業界とのデータ連携・データ分析でAIを活用

例1) 天気情報
→ 工場内湿度自動管理

例2) 交通情報
→ 出荷工程の自動変更

KPIデータ収集・分析(自動化)のAI活用

- ・KPI関連データ分析AI
- ・良品率、直行率分析AI
- ・平均故障間動作時間分析AI
- ・作業能率分析AI 他

KPI 改善(自動化)のAI活用

- ・環境改善AI(エネルギー、カーボンニュートラル等)
- ・工程自動変更AI
- ・予知保全AI
- ・作業分析AI(動画分析) 他

スマート製造におけるAI活用について

課題例	分類	目的	KPI (ISO22400他)	KPI良化に必要なAI技術 (探索・学習・検知・分析・予測・診断・判定など)	
すぐ動く	製品設計	標準化・流用	総合能率	類似検索	
	設備設計	タクト最適	設備効率	最適軌道生成	
	設備立上	精度調整	良品率	パラメータ探索	
	設備立上	タクト調整	総合効率	パラメータ探索	
	生産技術	プログラム最適	良品率	構文分析	
	生産技術	作業分析	直接作業率	動画分析	
	生産技術	プロセス調整精度	設備効率	条件探索、評価関数	
	生産技術	プロセス調整時間	設備効率	自動プロ	
無駄がない	生産技術	タクトバランス調整	設備効率	ネック工程分析	
	工程管理	工程計画最適	総合能率	工程シミュレータ、探索	
	工程管理	歩留り予測	良品率	相関分析、良否予測	
	工程管理	稼働率予測	設備効率	工程シミュレータ、探索	
	工程管理	工程分析	総合能率	動画分析	
	工程管理	加工時間予測	設備効率	ワーク特徴分類	
	オペレータ	作業分析	作業者能率	動画分析	
	オペレータ	操作分析	設備効率	類似検索	
	オペレータ	異常作業検知	良品率	動画分析	
	オペレータ	チョコ停復旧	設備効率	分類	
	品質管理	プロセス診断	良品率	良否判定	
	品質管理	ネック工程分析	良品率、直行率	相関分析	
	品質管理	検査精度	良品率	波形良否判断	
	品質管理	目視レス外観検査	良品率	画像診断	
	品質管理	トレーサビリティ	サービス効率	類似検索	
	止まらない	保全	設備診断	平均故障間動作時間	異常度
		保全	故障検知		異常検知
		保全	故障診断	平均故障時間	原因分析
保全		故障予知	事後保全率	異常度予測	
保全		タイミング異常診断	平均故障時間	時間異常検知	
保全		トラブルシュート	平均復旧時間	異常波形分類	
サービス		パーツ在庫計画	平均故障時間	稼働状態・相関分析	

SMKLの経緯と最新状況 (ルール・メイキング)

<2022/03発行>
IEC TR63283-2

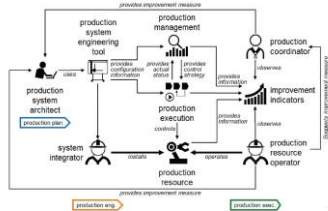


Figure 49 - Technical perspective of "Successive improvement of production systems"

2021~
HCMIconソの
“人と機械がパートナーとなるものづくり”
の評価で検討を開始

2023~
GxDコンソの
“CFPデータ要件”
での検討を開始



ISO/IEC
JWG21

国際標準
(ISO, IEC, ITU, IEEE)

国家標準
(DIN, ANSI, JIS, TIS, GB)



業界標準
(SEMI(semiconductor), ISA, UL)



2003~
e-Factory®

企業標準

国際提案
14.0の参照モデルの
ユースケース

適用化

<2020~審議中>

ISO/IEC JWG21

IEC 63339 (2023発行予定)の
URMSM※の事例で提案
→TR発行予定('25年)

※URMSM: Unified Reference Model of
Smart Manufacturing

2020~

国際標準規格として
日立的 ML-SMSと
共同提案中

SMKL

(Smart Manufacturing Kaizen Level)

2017~

SMKLと命名しオープン化を検討
2020/4に白書を公開

オープン化

2015~

三菱電機がe-F@ctoryを
社内で推進するために
ガイドラインを作成

e-F@ctory
ガイドライン



多くの関係者が製造状況を把握しながら、SMKL指標を使って現場改善を実施するユースケースを国際提案

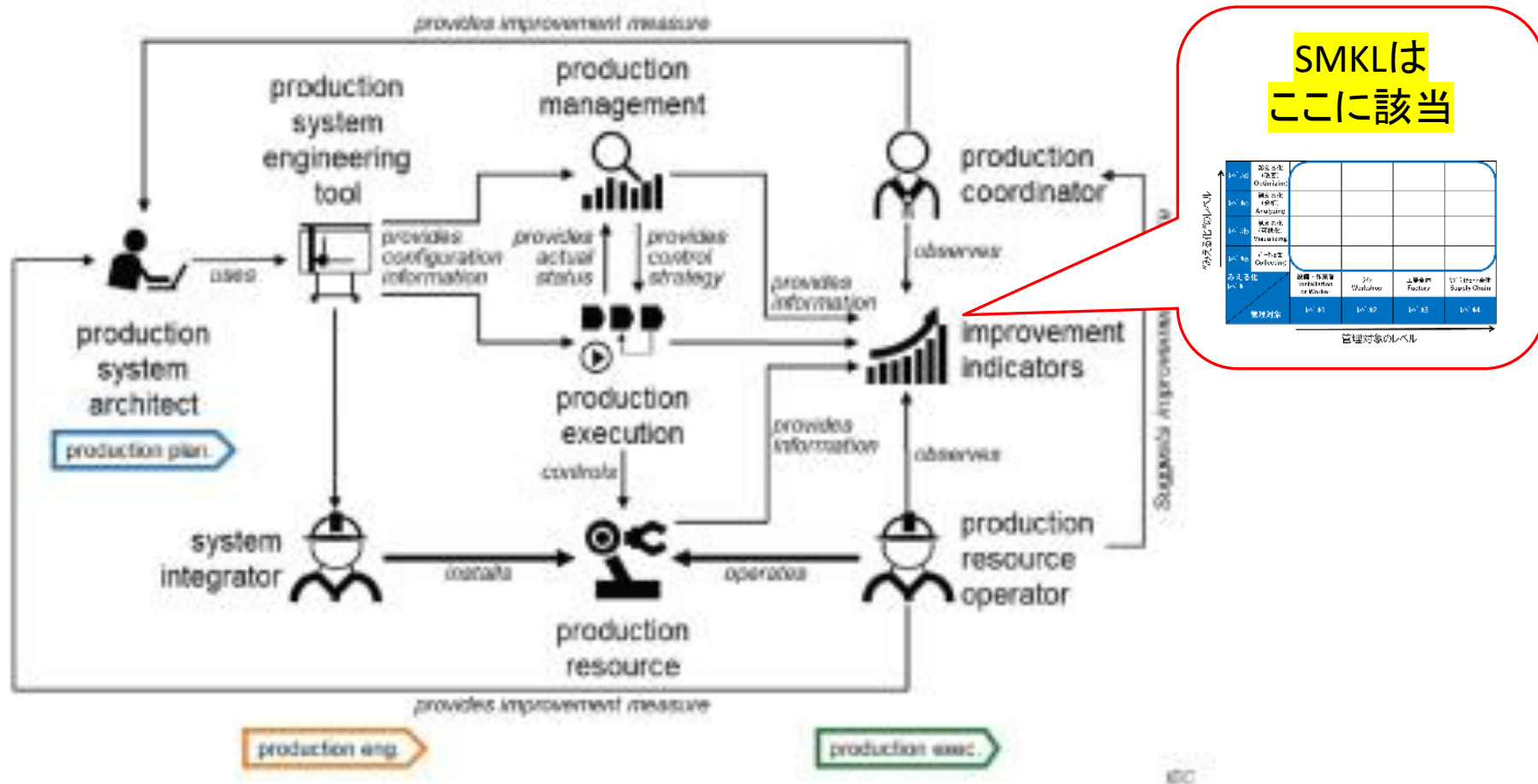


Figure 49 – Technical perspective of "Successive improvement of production systems"

- ◆ SMKLRの基本説明
- ◆ SMKLRの活動状況
- ◆ まとめ

- **SMKLは“産業用IoT”や“I4.0”、“製造DX”、“カーボンニュートラルの実現方法”などを皆で会話し、段階的に推進**するために考案
 - 2015年に三菱電機で発案され、**2017年にIAFでオープン化**、2020年からISOやIEC等の国際標準化を提案開始、2021年からHCMIコンソーシアムで人協働の評価指標として検討開始
 - また、**設備設計者**だけでなく、**FAベンダー**や**SIer**でも**客先との会話ツール**として既に活用が始まっている
- **日本が積極的に関与して世界へオープン化、標準化、普及**するため、関心がある**企業・団体と連携**して活動を推進中
 - SMKLを用いて**将来の理想世界を早期に実現**する事が、**日本産業界の競争力**となる

ご清聴ありがとうございました

以上