

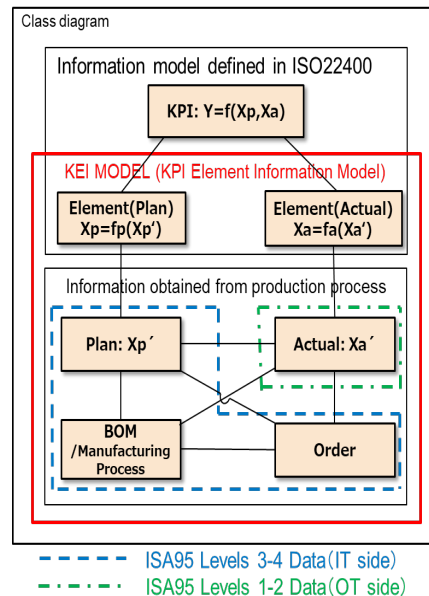
# 炭素排出情報KPI に関するKEI モデルの構造

2023年8月24日

IAF 制御層情報連携意見交換会(CLiC)  
茅野 眞一郎（三菱電機(株)）

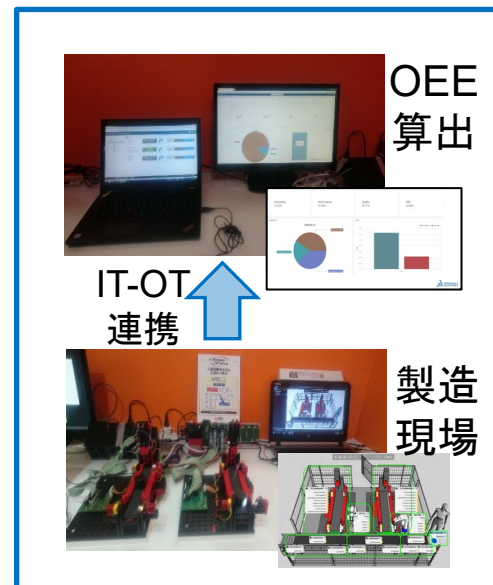
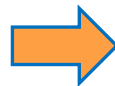
# IAF-CLiCの提唱するKEIモデルと実証システム

- ◆ KPI運用に関する課題抽出と対策検討、及びKPIシステム構築 に関する国際標準技術の活用検討
- ◆ 予実管理を主眼に置くKPIモデルの提案(KEIモデル)
- ◆ KEIモデルの有効性の実証(OEE、二酸化炭素排出量)

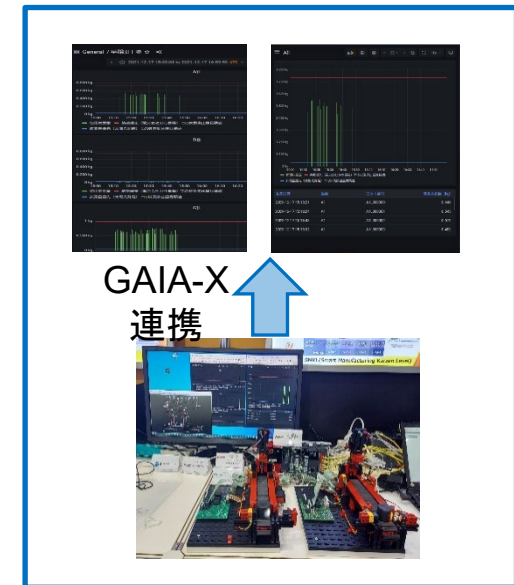


IAF-CLiCの提唱するKEIモデル

実証



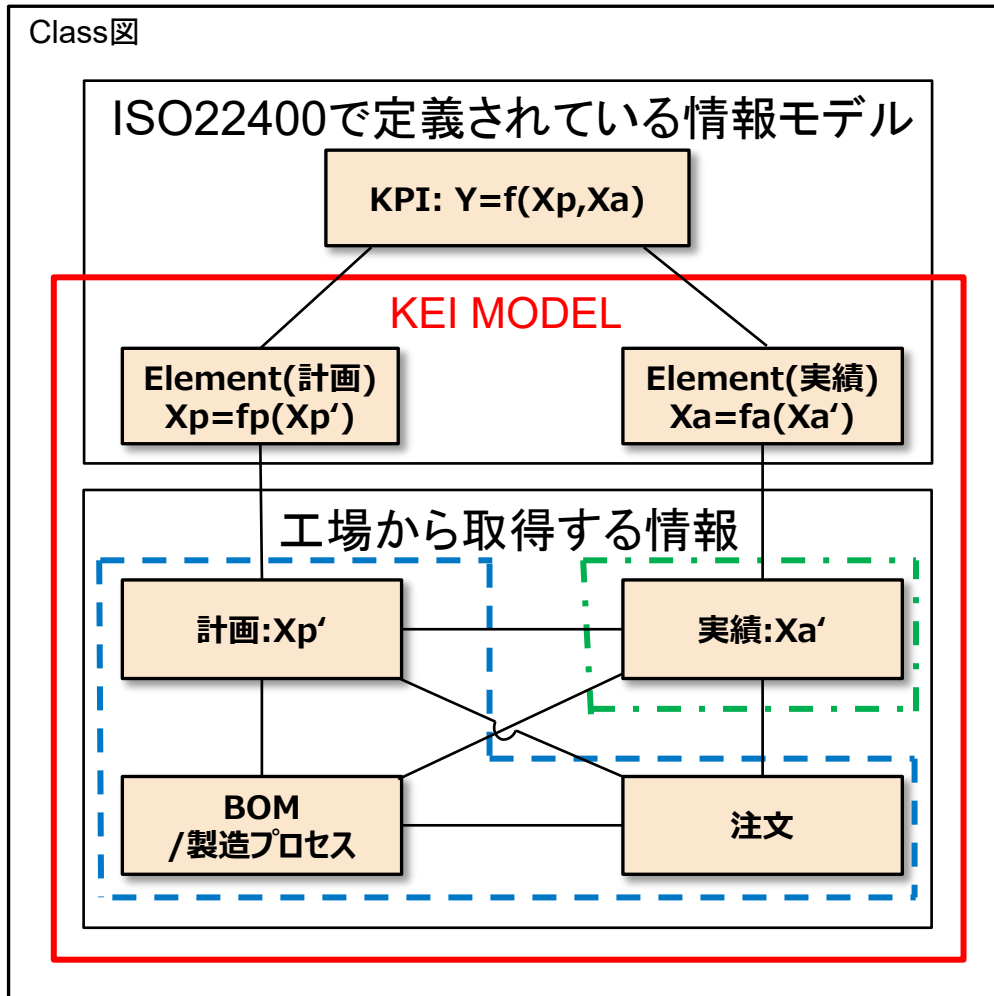
IIFES2019展示  
(OEE計測システム)



IIFES2022展示  
(CF計測システムと  
GAIA-X連携)

# KPIのためのKEIモデル

Class図



KEIモデル: 計画値と実績値の比較結果を評価 (KPI)

- KPI:  $KPI=f(X_p, X_a)$
- $X_p$ : Element(計画)  $X_p=f_p(X_p')$
- $X_a$ : Element(実績)  $X_a=f_a(X_a')$
- $X_p'$ : Control Domain data(計画)
- $X_a'$ : Control Domain data(実績)
- 注文: 受注関連情報
- BOM/製造プロセス: 生産設備

----- ISA95 Levels 3-4のデータ(IT側)

- . - . - . . ISA95 Levels 1-2のデータ(OT側)

# 二酸化炭素排出量の想定されるユースケース

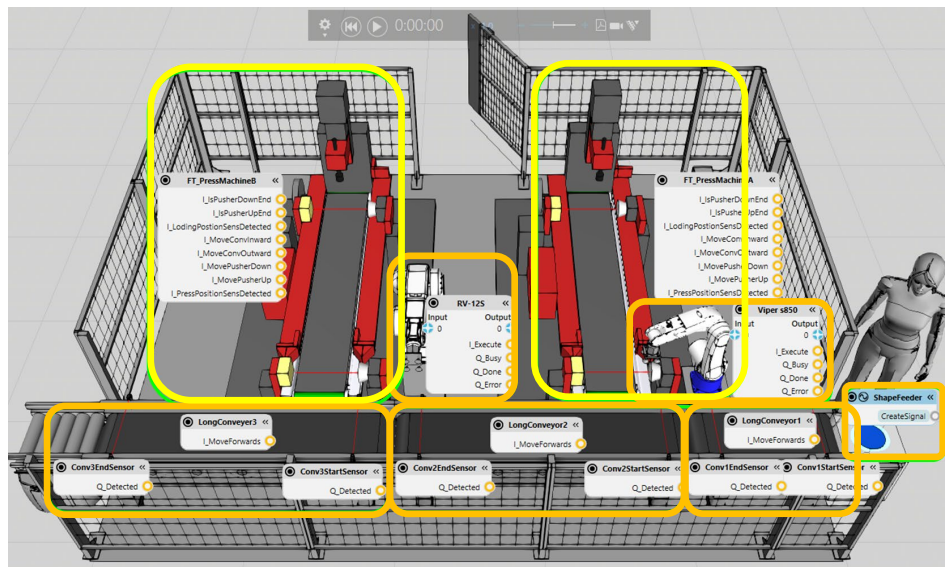
- ◆ 二酸化炭素排出量関連のユースケースを場面毎に検討  
(特に今回の実証システムに関連する、DX/サプライチェーンに関して)
- ◆ 下表に記載した代表例から、顧客対応に関連するユースケースに着目  
→ 先ずは、見積り、実績報告、を対象としてシステムを検討

表 脱炭素関連のユースケース例

No	大分類	関連場面	利用内容	備考
1	材料・部品調達	材料や部品選定	調達部品を製造する際に排出される二酸化炭素量とコスト、納期などの要因評価	対象: 調達材料、部品 その他: 顧客から脱炭素を要求される可能性高い
2		調達企業の選定	二酸化炭素排出量管理の内容、保証されている企業を調達先に選定	対象: 製品、工場全体、管理方法・規則
3	製造	プロセス改善	二酸化炭素の排出が少ない生産方法	対象: 設備、加工方法
4		二酸化炭素排出量管理	二酸化炭素排出量計測	エネルギーの見える化が二酸化炭素排出量の削減につながる
5	製品出荷	輸送時の排出量	GHGスコープ3への対応	対象: 輸送に関わる排出用の削減
6	顧客対応	顧客要求に関する見積もり返答	製品製造時の二酸化炭素排出量予測値	対象: 納品を希望する製品、カタログ その他: 納期やコストだけではなく、製品の製造時における二酸化炭素排出量も顧客の要求条件に含まれると予想
7		顧客への実績情報提供	製品製造時の二酸化炭素排出量実績値	対象: 納品した製品、オーダー その他: 顧客もその先の顧客に報告が必要
8	規制・格付け	監査、検査	二酸化炭素排出量実績値、総量	対象: 製品、工場全体(裏付け情報も必要)
9		格付け	CN、GXの進捗度合いを格付け	対象: 顧客が、各社の脱炭素対策進捗度や情報の信頼性を評価

# 二酸化炭素排出量計測システム計測対象

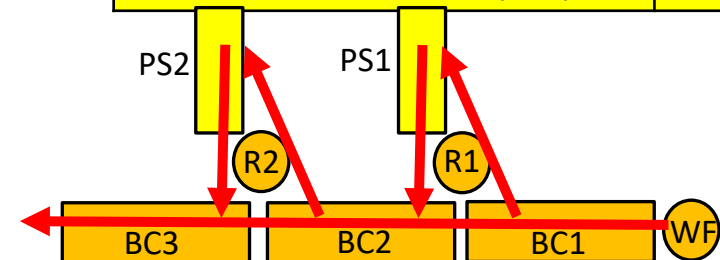
- ◆ 現場の機器構成は、実機とエミュレーションで実現
  - 実機： パンチャーシステム（短いコンベヤとパンチャーで構成）
  - エミュレーション： ワークフィーダ（x1）、コンベヤ（x3）、ロボット（x2）
- ◆ 二酸化炭素排出量計測に対応する機能を実装



全体設備構成図

全体設備構成表

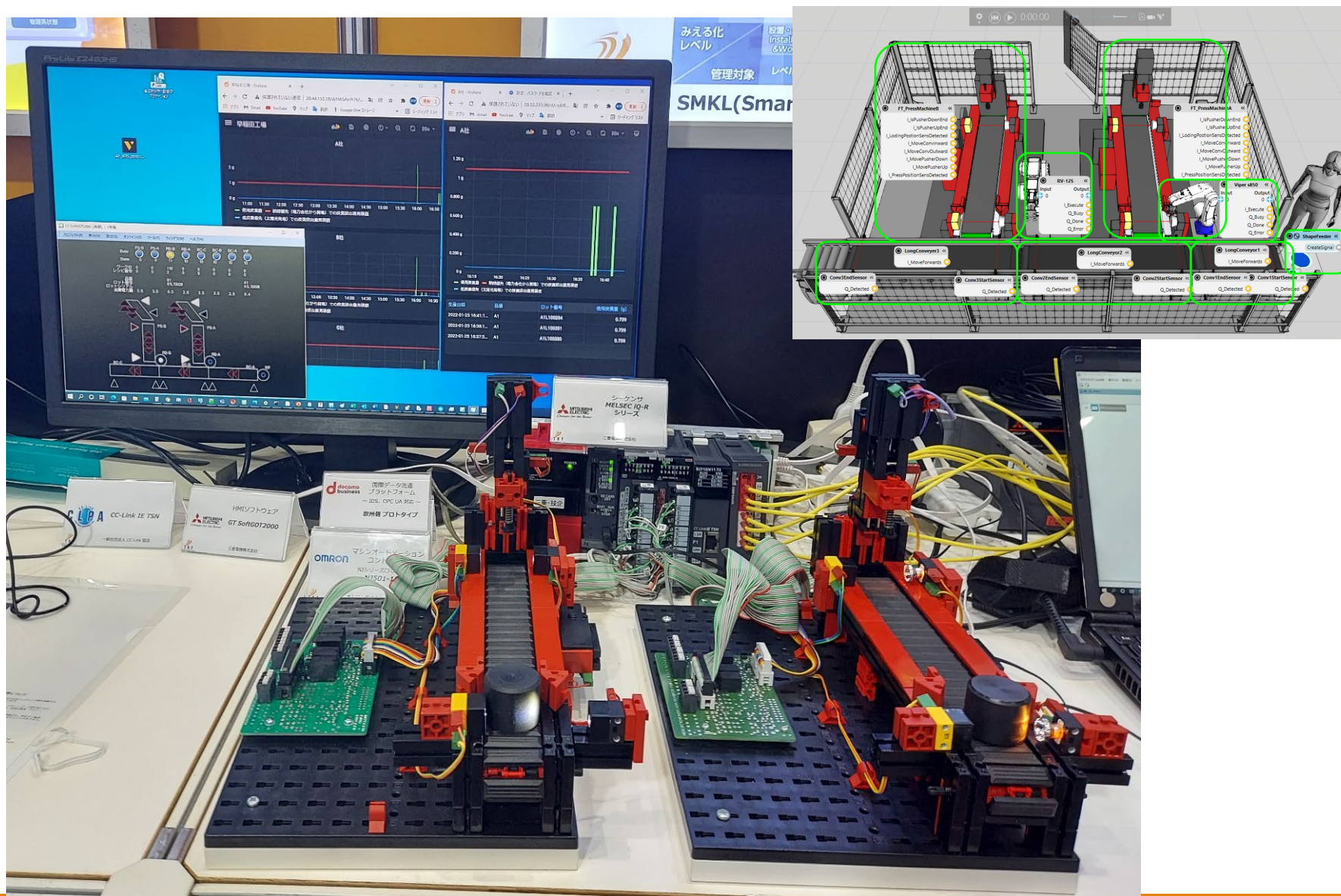
装置	台数
ワークフィーダ (WF)	1
コンベヤ (BCn)	3
ロボット (Rn)	2
パンチャー設備 [実機] (PSn)	2

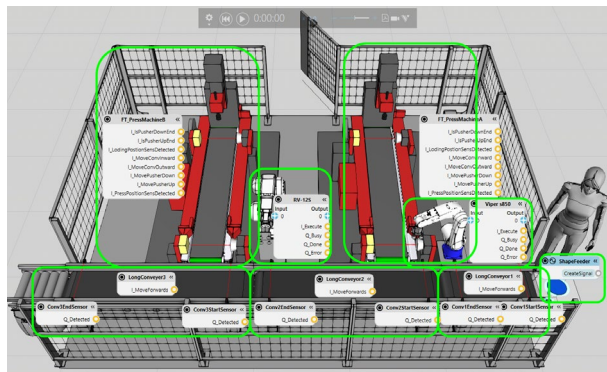


全体設備構成ブロック図

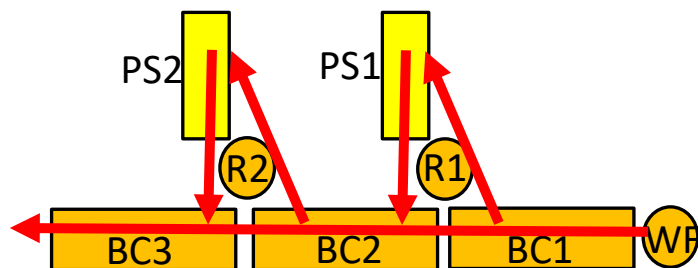


# IIFES2022における実証システム

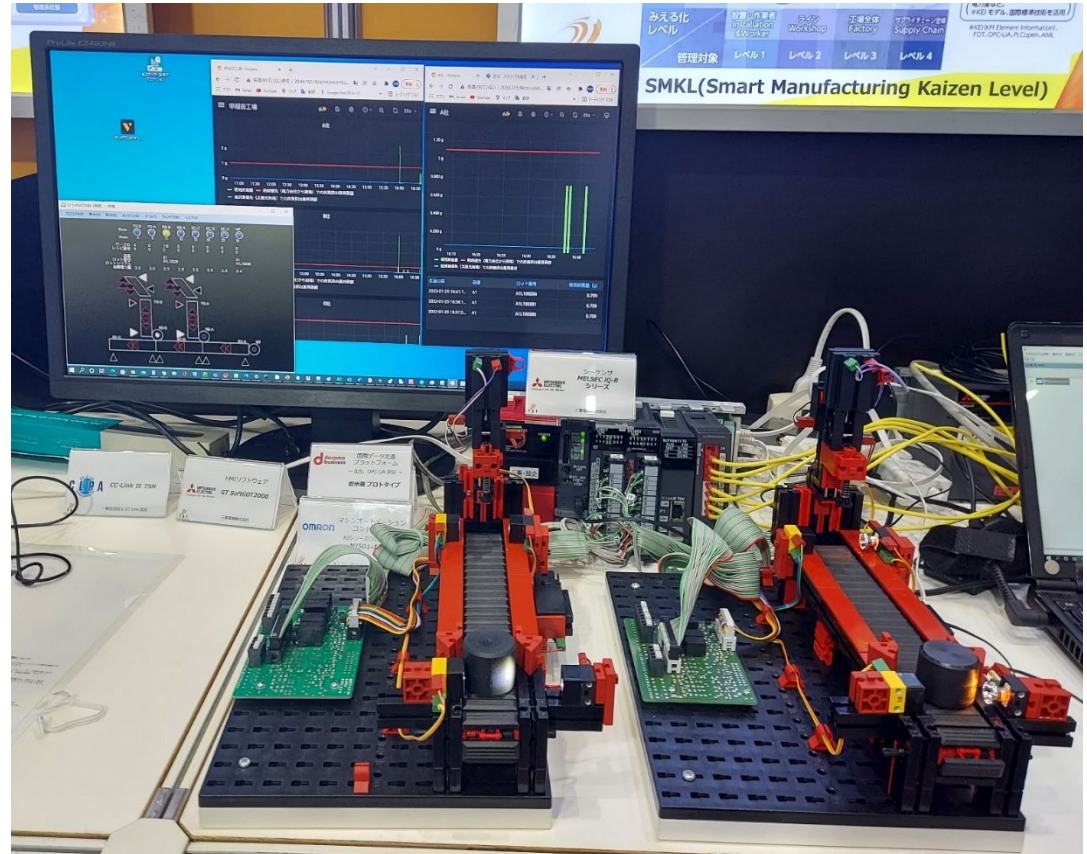




全体設備構成図



全体設備構成ブロック図



二酸化炭素排出量計測システム全景  
(IIFES2022)





製造会社画面(日本側)  
(欧州のA,B,Cの3社に製品を出荷)



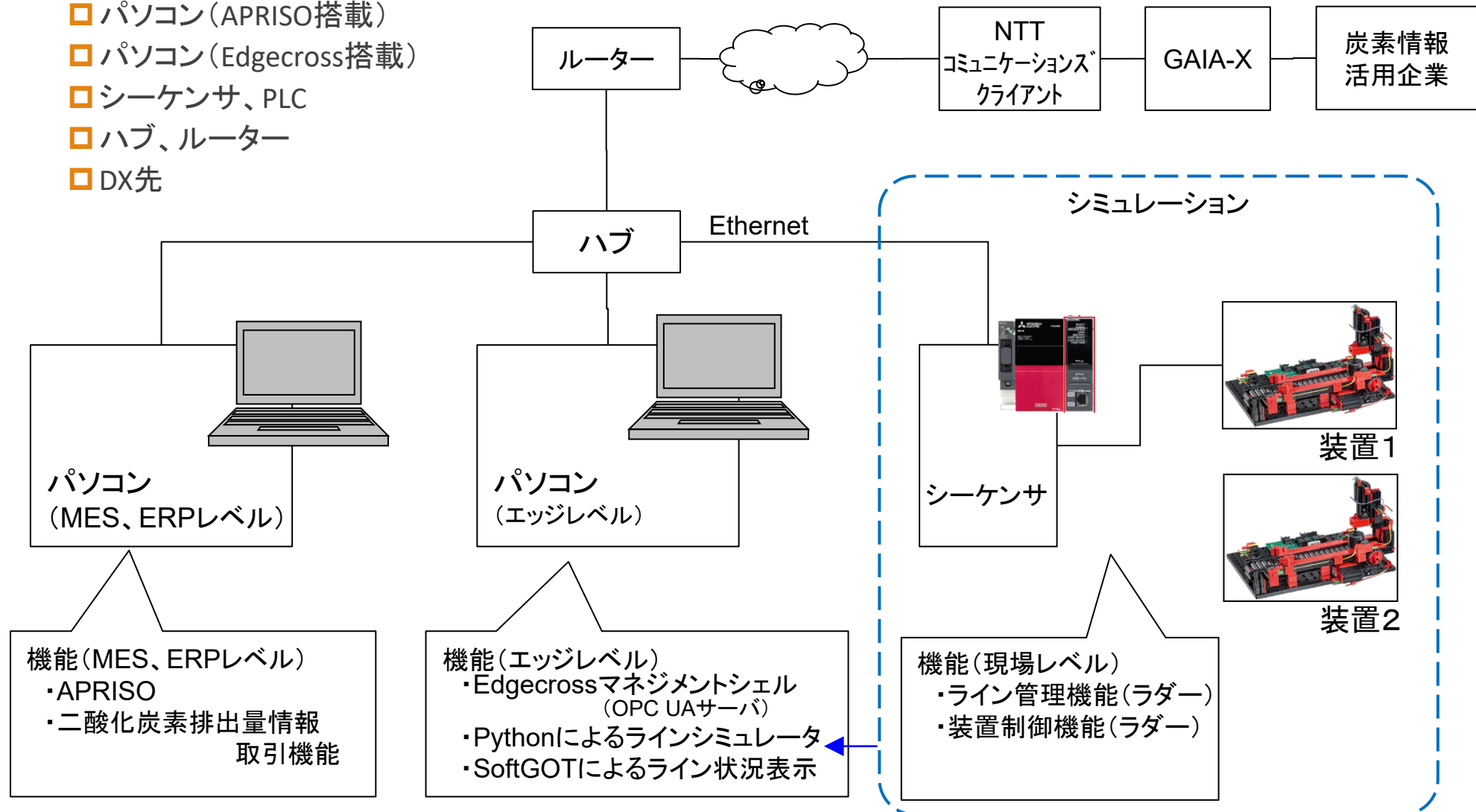
A社側画面(欧州企業)  
(GAIA-Xの先のA社)



# 実証システム構成概要

## ◆構成

- パソコン (APRISO搭載)
- パソコン (Edgecross搭載)
- シーケンサ、PLC
- ハブ、ルーター
- DX先



# 二酸化炭素排出量計測システムのレベル構成

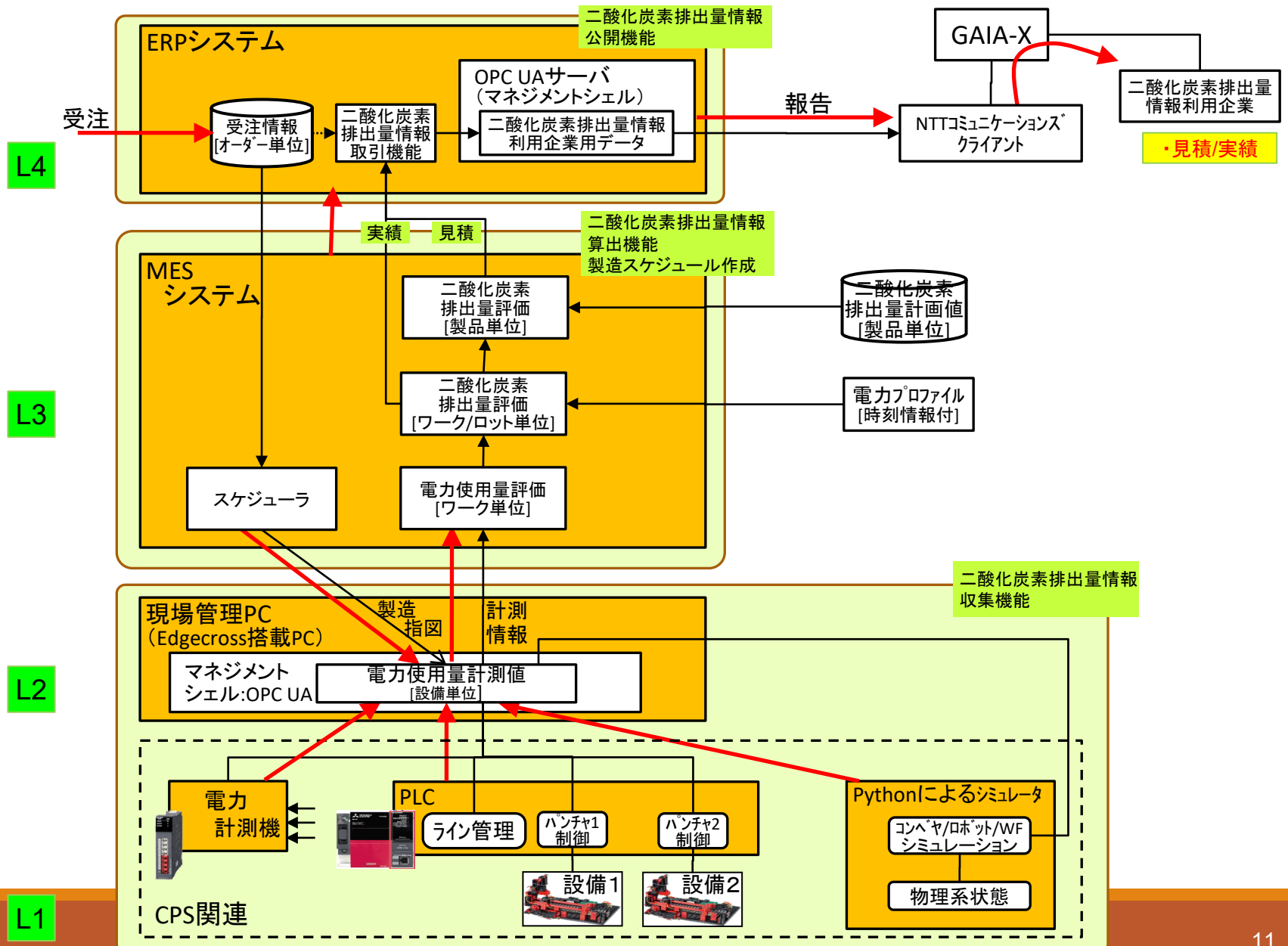
◆ 二酸化炭素排出量計測システムは、下記のレベルの機能から構成される。

	レベル	役割	二酸化炭素排出量計測システムでの具体的な実施内容
5	外部連携レベル	製造関連情報のDXによる価値創出	・リモートクライアントからのリモートアクセス (IIFES2022では、GAIA-Xを介して炭素情報活用企業と連携)
4	ERPレベル	複数の資源に関係する物理量を価値に変換・解析	・受注処理、受注情報からの生産指示生成 ・炭素情報取引のための情報管理
3	MESレベル	工程/作業区、複数の資源に関係する最適化	・生産指示からスケジューリングし、現場に指図を送付。 ・使用エネルギーや炭素量の同定、根拠情報を含めた記録 ・KEIモデルの検証
2	エッジレベル	工程/作業区、複数の資源に関係する確認	・現場設備を実機とシミュレーションで実現(CPS) ・エッジプラットフォームを利用し様々な現場設備の情報を収集 ・OPC UAを活用し、現場情報のデータモデル化
1	製造現場レベル	工程/作業区、複数の資源を活用して製造	・実機の制御(ライン管理、設備制御) ・リアルタイムでの設備状況、エネルギー情報収集機能

# 二酸化炭素排出量計測システム機能ブロック

(製造時の二酸化炭素排出量関連のみ記載)

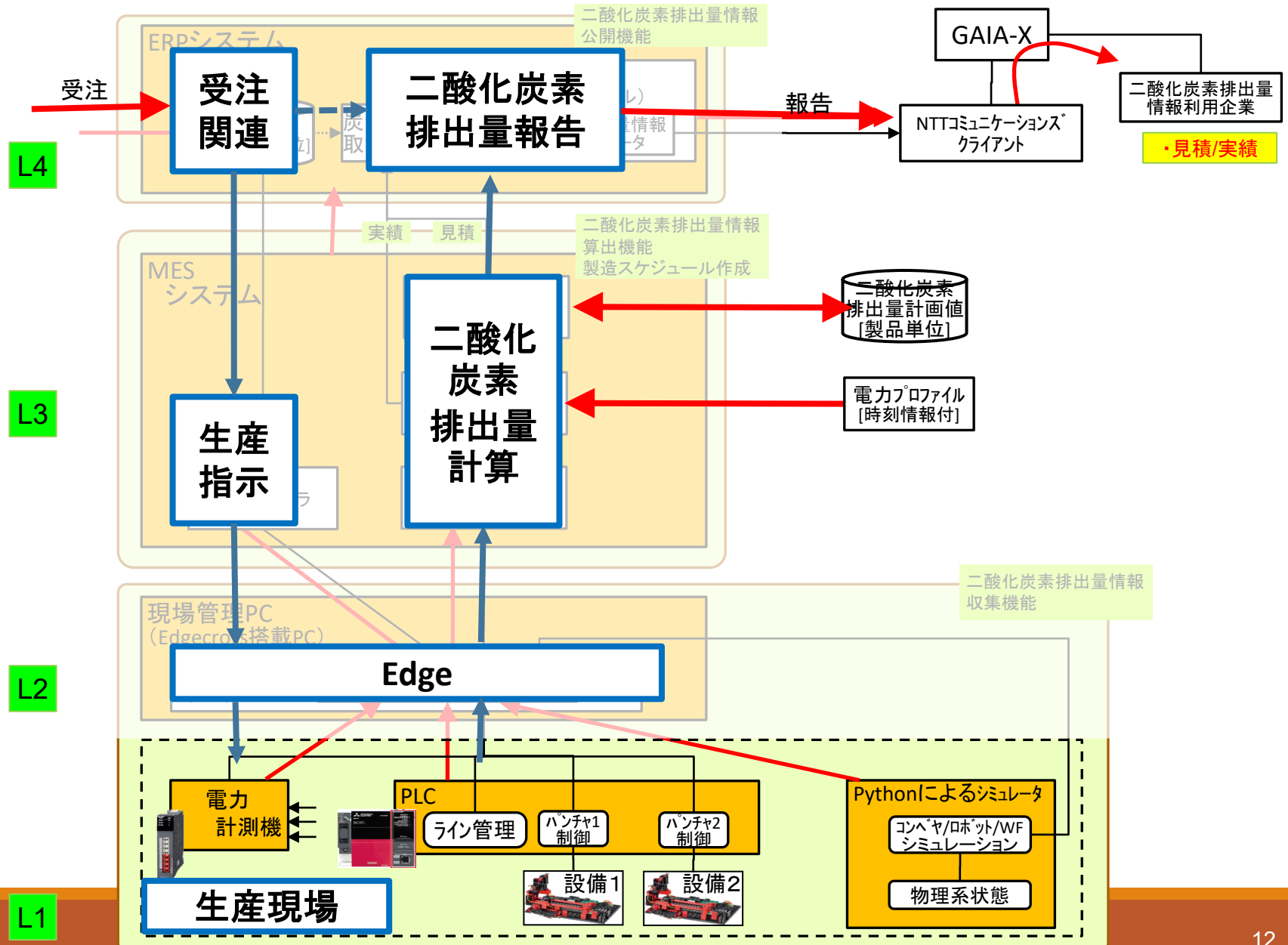
レベル		
4 / 5	ERP レベル	外部 連携 レベル
3	MES レベル	
2	エッジ レベル	
1	製造現場 レベル	



# 二酸化炭素排出量計測システム機能ブロック

(製造時の二酸化炭素排出量関連のみ記載)

レベル		
4 / 5	ERP レベル	外部 連携 レベル
3	MES レベル	
2	エッジ レベル	
1	製造現場 レベル	

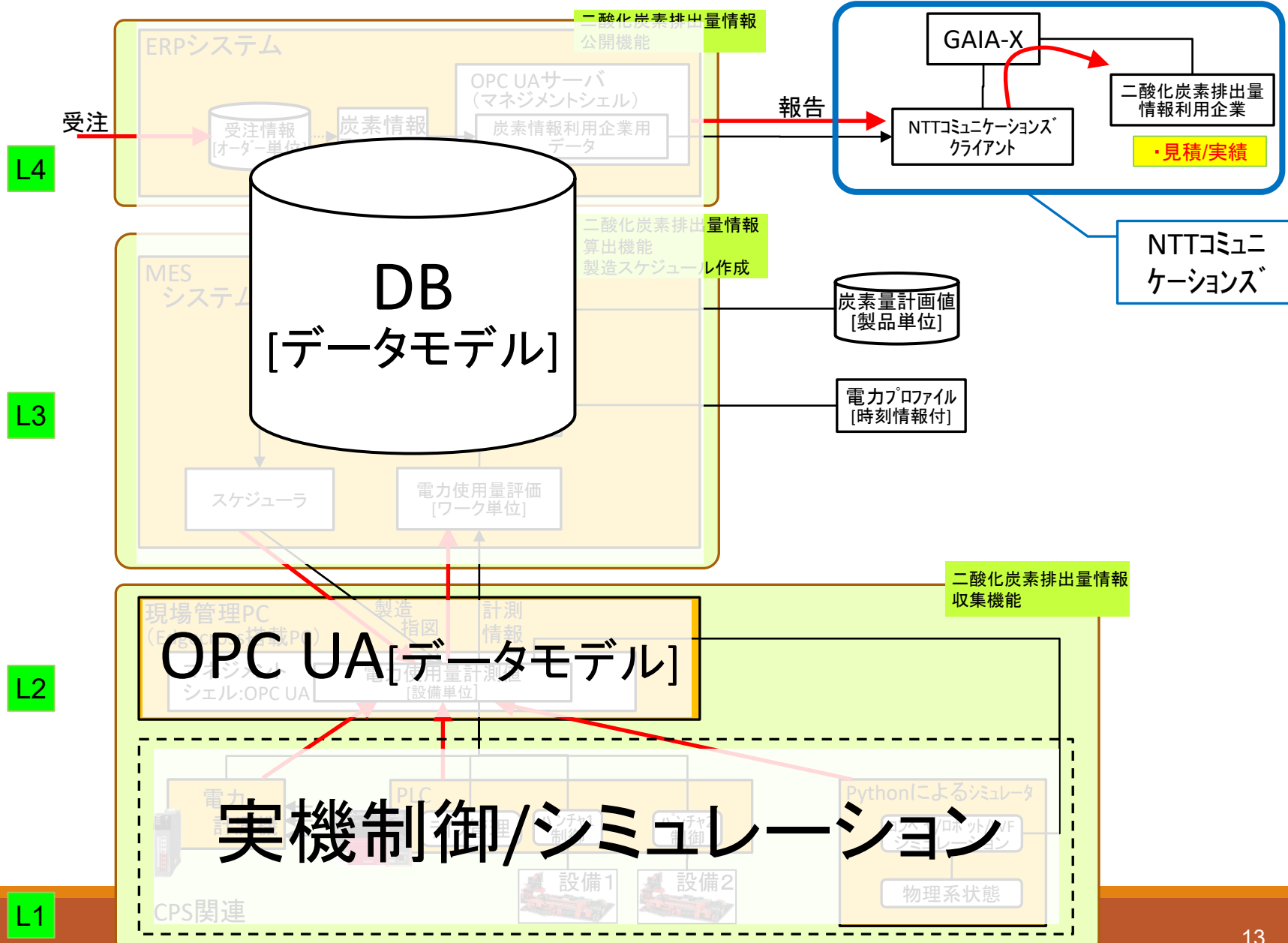




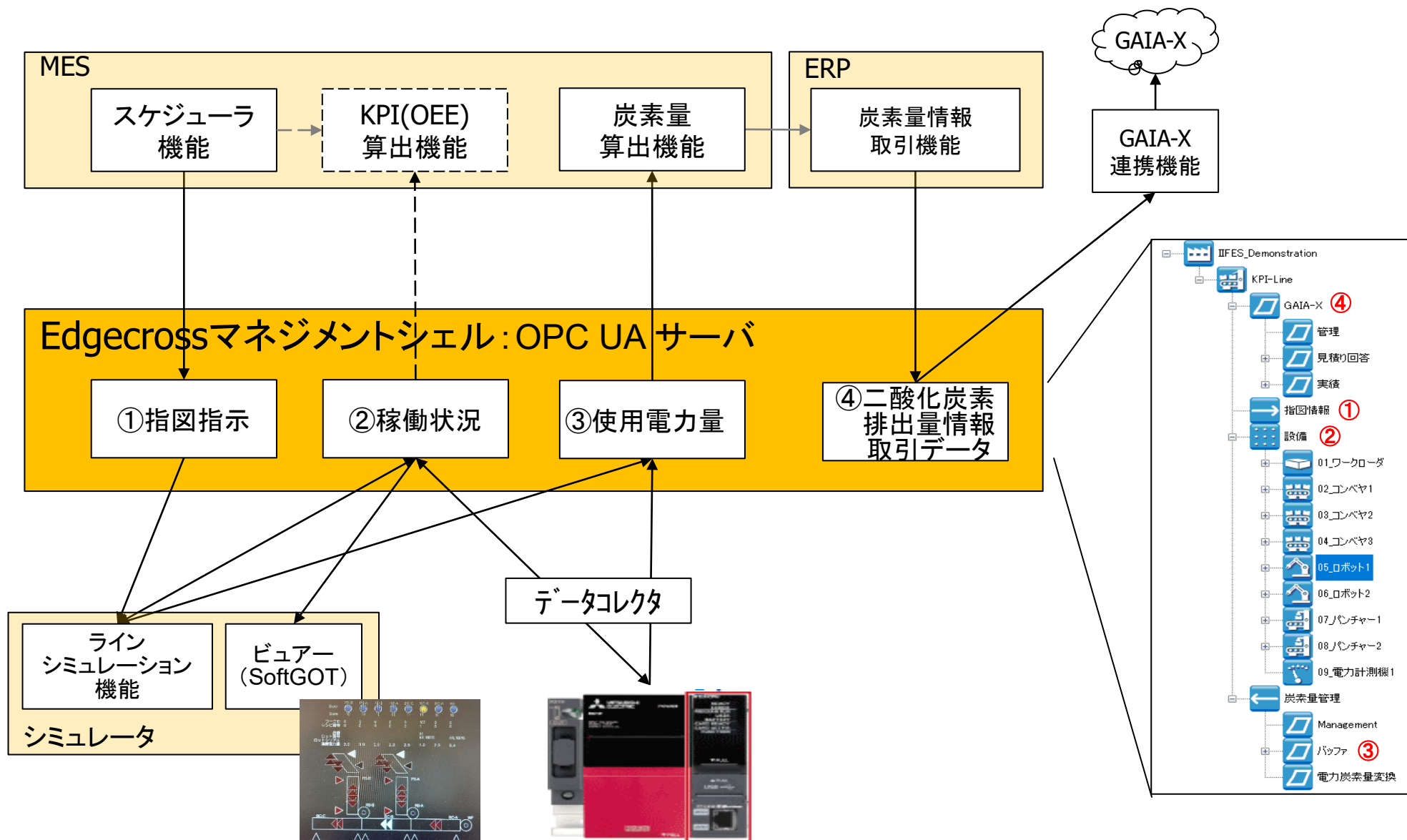
# 二酸化炭素排出量計測システム機能ブロック

(製造時の二酸化炭素排出量関連のみ記載)

レベル		
4 / 5	ERP レベル	外部 連携 レベル
3	MES レベル	
2	エッジ レベル	
1	製造現場 レベル	



# OPC UA(マネジメントシェル)の役割 ～ データのハブ ～



# 二酸化炭素排出量算出の概要

生産指示

材料  
データ

環境  
データ

二酸化炭素排出量算出系



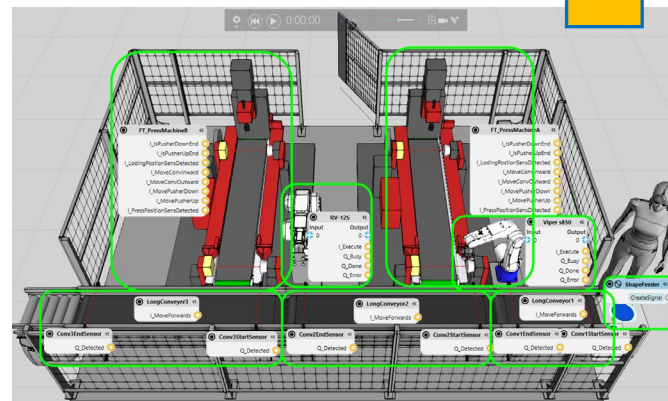
炭素  
データ

生産  
指示

生産  
指示

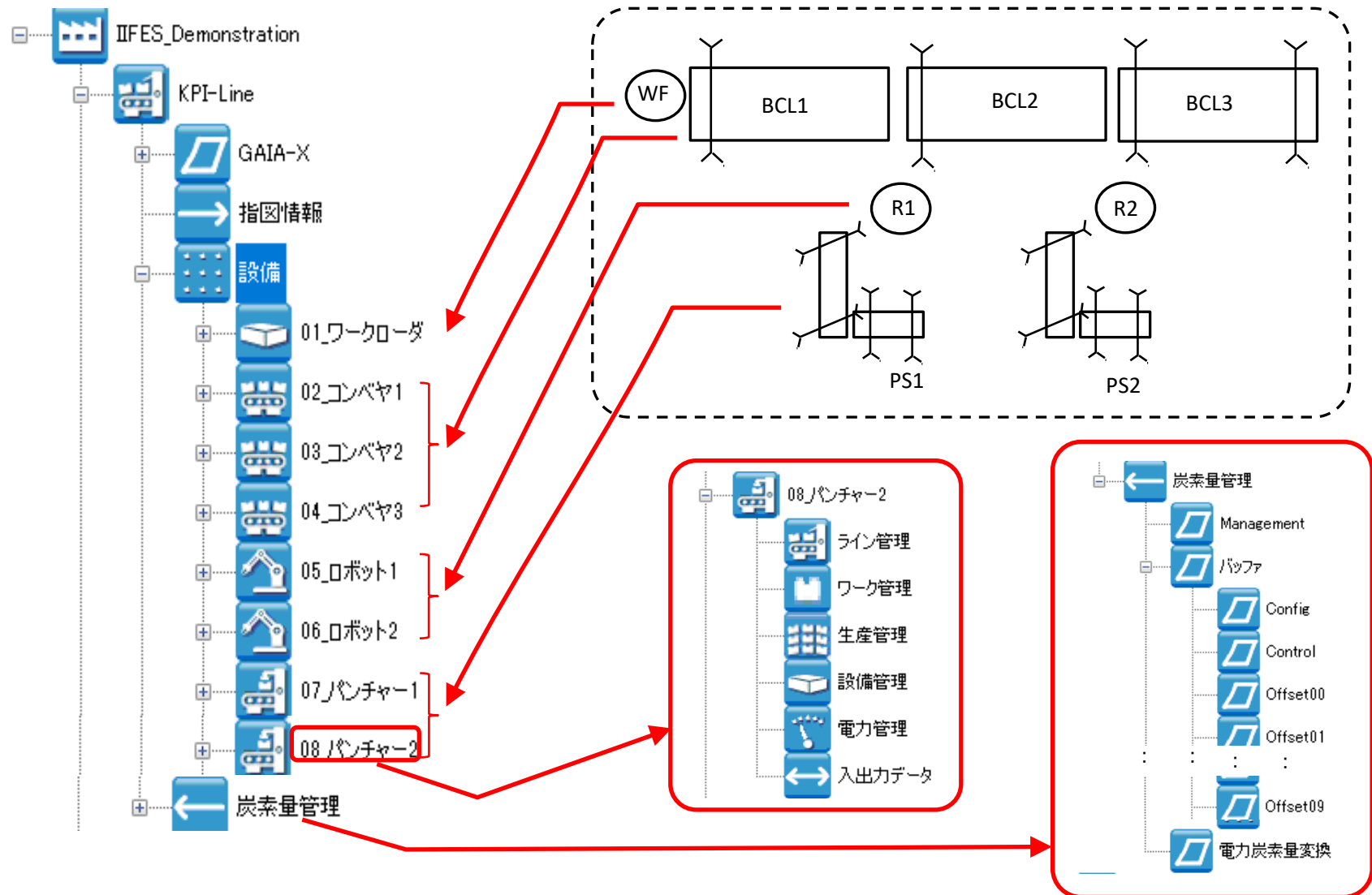
現場  
(データ収集  
対象)

原材料



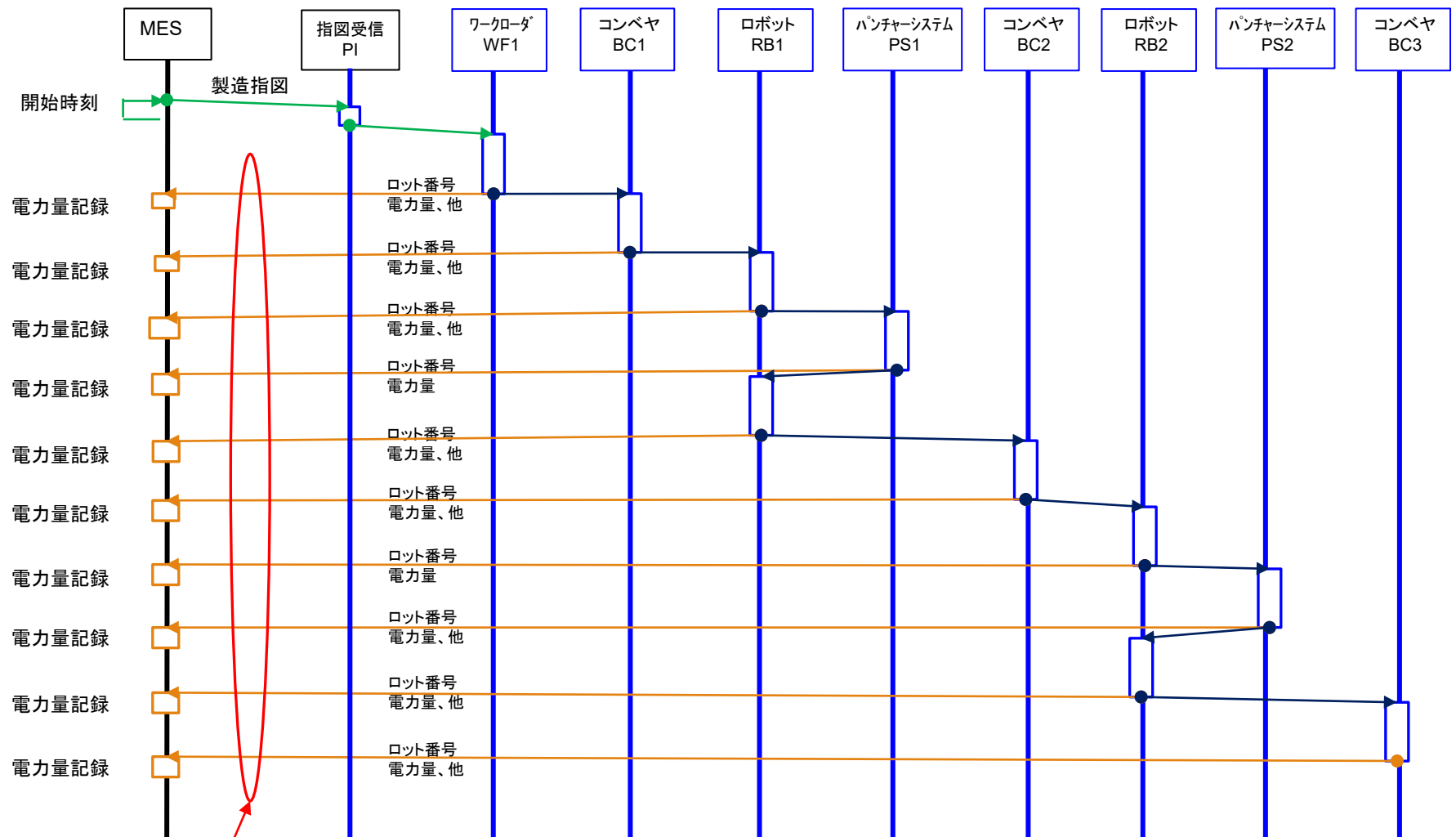
製品

# 生産現場のデータモデル(マネジメントシェル)





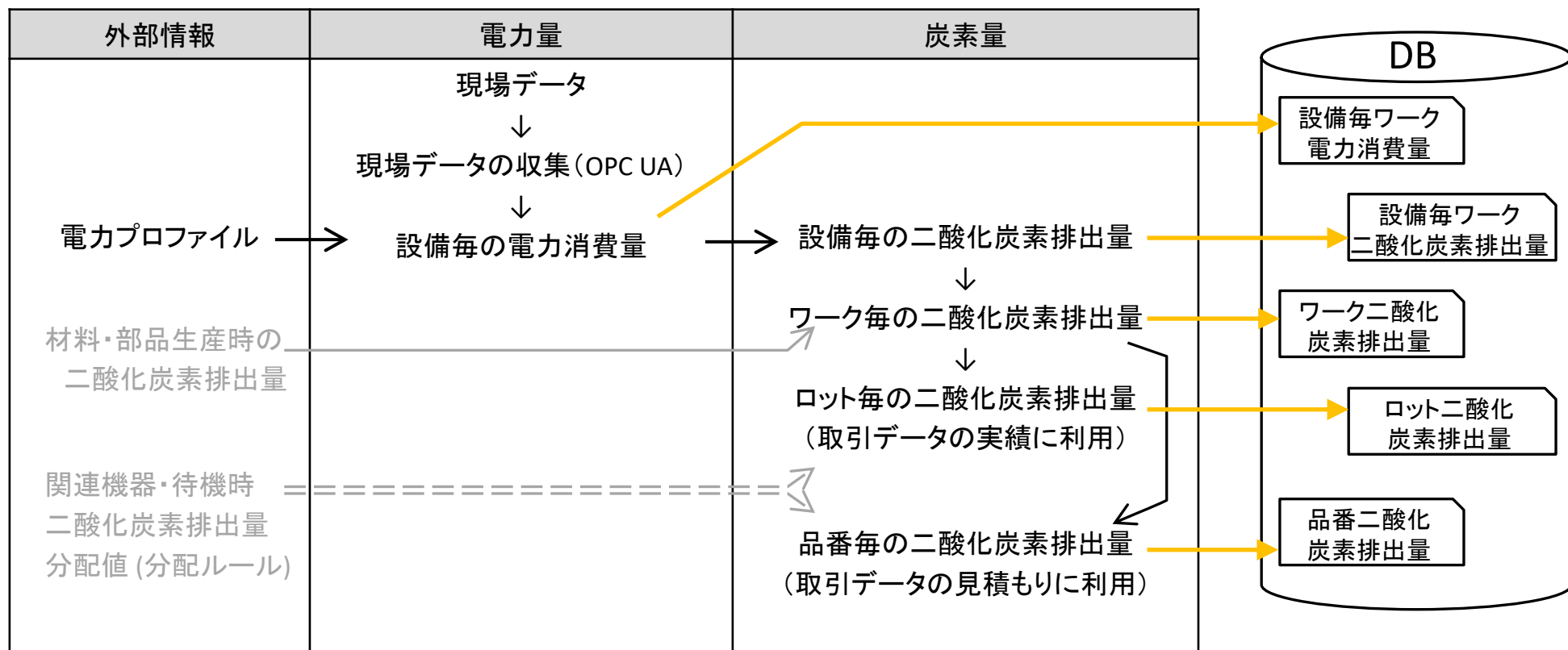
# エッジレベルでのリアルタイム処理 (使用電力量の収集)



リングバッファを利用

□: 装置ビジー

# 二酸化炭素排出量算出データ処理



# 炭素量関連データ例

設備毎ワーク  
二酸化炭素  
排出量

no	startdatetime [timestamp with time zone]	enddatetime [timestamp with time zone]	productid [text]	lotname [text]	lotserial [integer]	lotseriallast [boolean]	equipmentid [text]	carbonfootprint [real]	status [text]	remarks [text]
1	2023/02/03 12:10:18	2023/02/03 12:10:18	PN0001	PO0001	1	True	ShapeFeeder	0.2	完了	
2	2023/02/03 12:10:26	2023/02/03 12:10:26	PN0001	PO0001	1	True	Conveyor1	1.2	完了	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

ワーク  
二酸化炭素  
排出量

no	startdatetime [timestamp with time zone]	enddatetime [timestamp with time zone]	productid [text]	lotname [text]	lotserial [integer]	lotseriallast [boolean]	carbonfootprint [real]	status [text]	remarks [text]
1	2023/02/03 12:10:18	2023/02/03 12:10:56	PN0001	PO0001	1	True	7.1	完了	
2	2023/02/03 12:10:58	2023/02/03 12:11:37	PN0002	PO0002	1	False	7.3	完了	
3	2023/02/03 12:11:39	2023/02/03 12:12:19	PN0002	PO0002	2	False	7.3	完了	
4	2023/02/03 12:12:21	2023/02/03 12:13:00	PN0002	PO0002	3	True	7.3	完了	
5	2023/02/03 12:13:03	2023/02/03 12:13:57	PN0003	PO0003	1	False	10.6	完了	
6	2023/02/03 12:13:59	2023/02/03 12:14:54	PN0003	PO0003	2	True	10.6	完了	
7	2023/02/03 12:14:57	2023/02/03 12:15:34	PN0001	PO0004	1	False	7.3	完了	
8	2023/02/03 12:15:36	2023/02/03 12:16:13	PN0001	PO0004	2	True	7.1	完了	
9	2023/02/03 12:16:16	2023/02/03 12:16:55	PN0002	PO0005	1	True	7.3	完了	
10	2023/02/03 12:16:57	2023/02/03 12:17:51	PN0003	PO0006	1	True	10.6	完了	

ロット  
二酸化炭素  
排出量

no	startdatetime [timestamp with time zone]	enddatetime [timestamp with time zone]	productid [text]	lotname [text]	lotcount [integer]	carbonfootprint [real]	cflotmax [real]	cflotmin [real]	status [text]	remarks [text]
1	2023/02/03 12:10:18	2023/02/03 12:10:56	PN0001	PO0001	1	7.1	7.1	7.1	完了	
2	2023/02/03 12:10:58	2023/02/03 12:13:00	PN0002	PO0002	3	21.9	7.3	7.3	完了	
3	2023/02/03 12:13:03	2023/02/03 12:14:54	PN0003	PO0003	2	21.2	10.6	10.6	完了	
4	2023/02/03 12:14:57	2023/02/03 12:16:13	PN0001	PO0004	2	14.4	7.3	7.1	完了	
5	2023/02/03 12:16:16	2023/02/03 12:16:55	PN0002	PO0005	1	7.3	7.3	7.3	完了	
6	2023/02/03 12:16:57	2023/02/03 12:17:51	PN0003	PO0006	1	10.6	10.6	10.6	完了	

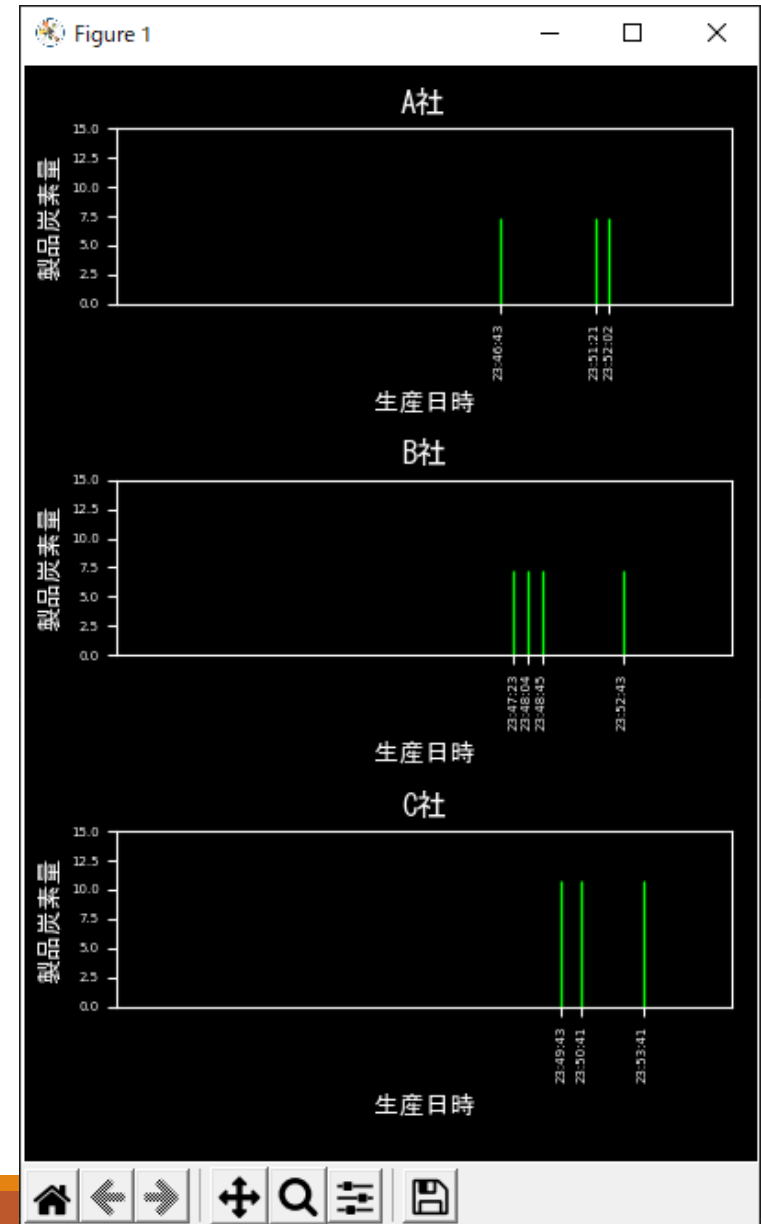
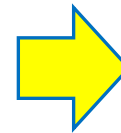
品番  
二酸化炭素  
排出量

no	startdatetime [timestamp with time zone]	enddatetime [timestamp with time zone]	productid [text]	productcount [integer]	carbonfootprint [real]	cflotmax [real]	cflotmin [real]	remarks [text]
1	2023/02/03 12:10:18	2023/02/03 12:16:13	PN0001	3	21.5	7.3	7.1	
2	2023/02/03 12:10:58	2023/02/03 12:16:55	PN0002	4	29.2	7.3	7.3	
3	2023/02/03 12:13:03	2023/02/03 12:17:51	PN0003	3	31.8	10.6	10.6	

# ワーク毎の二酸化炭素排出量グラフ

ワーク二酸化炭素排出量

no	start datetime	end datetime	product id	lot name	lot serial	lotserial last	carbon footprint	status	remarks
1	2023/02/03 12:10:18	2023/02/03 12:10:56	PN0001	PO0001	1	True	7.1	完了	
2	2023/02/03 12:10:58	2023/02/03 12:11:37	PN0002	PO0002	1	False	7.3	完了	
3	2023/02/03 12:11:39	2023/02/03 12:12:19	PN0002	PO0002	2	False	7.3	完了	
4	2023/02/03 12:12:21	2023/02/03 12:13:00	PN0002	PO0002	3	True	7.3	完了	
5	2023/02/03 12:13:03	2023/02/03 12:13:57	PN0003	PO0003	1	False	10.6	完了	
6	2023/02/03 12:13:59	2023/02/03 12:14:54	PN0003	PO0003	2	True	10.6	完了	
7	2023/02/03 12:14:57	2023/02/03 12:15:34	PN0001	PO0004	1	False	7.3	完了	
8	2023/02/03 12:15:36	2023/02/03 12:16:13	PN0001	PO0004	2	True	7.1	完了	
9	2023/02/03 12:16:16	2023/02/03 12:16:55	PN0002	PO0005	1	True	7.3	完了	
10	2023/02/03 12:16:57	2023/02/03 12:17:51	PN0003	PO0006	1	True	10.6	完了	





## ◆ 制定団体

- ISO/TC 184/SC 5/WG 9

## ◆ 構成

- Part1(2014年制定): Overview, concepts and terminology  
概要を記載。
- Part2(2014年制定): Definitions and descriptions  
34種のKPIの定義を記載。
- Part2 Amendment 1(2017年制定): Key performance indicators  
for energy management  
修正事項として4種の定義を追加。ISOとしての定義は38種となる。
- TR Part10(2018年制定): Operational sequence description of data acquisition  
生産管理および監視用の主要業績評価指標の公式を適用するための実用的な  
使用法を記載。

# 規定されているKPI (ISO 22400-Part2)

## Efficiency indicators: 効率指標 [9]

- (1) Worker efficiency: 労働生産性
- (2) Allocation ratio: 負荷度
- (3) Throughput rate: 生産量
- (4) Allocation efficiency: 負荷効率
- (5) Utilization efficiency: 利用効率
- (6) Overall equipment effectiveness index: 総合設備効率
- (7) Net equipment effectiveness index: 正味設備効率
- (8) Availability: 設備有効性
- (9) Effectiveness: 工程効率

## Quality indicators: 品質指標 [9]

- (10) Quality ratio: 品質率、良品率
- (11) Setup ratio: 段取率
- (12) Technical efficiency: 設備保全利用率
- (13) Production process ratio: 工程利用率
- (14) Actual to planned scrap ratio: 計画実績廃棄率
- (15) First pass yield: 直行率
- (16) Scrap ratio: 廃棄率
- (17) Rework ratio: 手直率
- (18) Fall off ratio: 減衰率

## Capacity indicators: 容量指標 [4]

- (19) Machine capability index: 機械能力指数
- (20) Critical machine capability index: クリティカル機械能力指数
- (21) Process capability index: 工程能力指数
- (22) Critical process capability index: クリティカル工程能力指数

## Inventory management indicators: 在庫管理指標 [6]

- (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 loss ratio: 製造廃棄率
- (28) Storage and transportation loss ratio: 在庫輸送廃棄率
- (29) Other loss ratio: その他廃棄率

## Maintenance indicators: メンテナンス指標 [5]

- (30) Equipment load ratio: 設備負荷率
- (31) Mean operating time between failures: 平均故障間動作時間
- (32) Mean time to failure: 平均故障時間
- (33) Mean time to repair: 平均復旧時間
- (34) Corrective maintenance ratio: 良品保全率

## Energy Management: エネルギー管理 [5]

- (23) Comprehensive energy consumption: 総合エネルギー消費量
- (35) Direct energy consumption effectiveness: 直接エネルギー消費効率
- (36) Direct net energy consumption effectiveness: 直接正味エネルギー消費効率
- (37) Direct energy efficiency: 直接エネルギー効率
- (38) Direct net energy efficiency: 直接正味エネルギー効率

注) (35)～(38)は ISO 22400-Part2 Amendment 1に記載

注) 青文字: 総合設備効率(OEE)

注) 赤文字: エネルギー関連KPI

ISO22400の総合エネルギー消費量に関連するKPIは以下で表される。

## ◆ 総合エネルギー消費量 (Comprehensive energy consumption)

$$E = \sum M_i \times R_i + Q \quad \dots(\text{式1})$$

$$e = E/PQ = (\sum M_i \times R_i + Q) / PQ \quad \dots(\text{式2})$$

- E: 総合エネルギー消費量
- e: ユニット単位のエネルギー消費量
- PQ: 生産量 (produced quantity)
- $M_i$ : 測定可能な実エネルギー消費量
- $R_i$ : エネルギー変換係数
- Q: 環境とのエネルギー交換量

(ISO 22400-2より引用)

◆ 直接エネルギー消費効率 (Direct energy consumption effectiveness)

$$\text{DECE}[\%] = (\text{PDEI} \times \text{PQ} / \text{ADEC}) \times 100$$

◆ 直接正味エネルギー消費効率 (Direct net energy consumption effectiveness)

$$\text{DNECE}[\%] = (\text{PDEI} \times \text{GQ} / \text{ADEC}) \times 100$$

◆ 直接エネルギー効率 (Direct energy effectiveness)

$$\text{DEE} = \text{ADEC} / \text{PQ}$$

◆ 直接正味エネルギー効率 (Direct net energy effectiveness)

$$\text{DNEE} = \text{ADEC} / \text{GQ}$$

- DECE: 直接エネルギー消費効率 (direct energy consumption effectiveness)
- DNECE: 直接正味エネルギー消費効率 (direct net energy consumption effectiveness)
- DEE: 直接エネルギー効率 (direct energy effectiveness)
- DNEE: 直接正味エネルギー効率 (direct net energy effectiveness)
- PDEI: 直接エネルギー消費量原単位計画値 (planned direct energy consumption per item)
- ADEC: 直接エネルギー消費量実績値 (actual direct energy consumption)
- PQ: 生産量 (produced quantity)
- GQ: 良品量 (good quantity)

(ADEC: 前出の「E」の実績値にあたる。 PDEI: 前出の「e」の計画値から導き出す。)

(ISO 22400-2AMDより引用)



# エネルギー管理関連KPIとその概要

表 ISO 22400におけるエネルギー管理関連KPI

No	KPI		予実管理の観点における評価	
	エネルギー管理KPI	概要	予実管理の概念	予実管理対応方法
1	Comprehensive energy consumption (総合エネルギー消費量)	生産量に対するエネルギー消費量を評価	予実管理の概念は入らない	計画値と実績値を別個に算出し比較
2	Direct energy consumption effectiveness (直接エネルギー消費効率)	エネルギー消費量の計画値と実績値の差(比率)を、生産量をベースに評価	計画値と実績値の比であり、予実管理の概念が入っている	そのまま利用 (予実の比較手法は比率)
3	Direct net energy consumption effectiveness (直接正味エネルギー消費効率)	エネルギー消費量の計画値と実績値の差(比率)を、生産したものの内の良品量をベースに評価		
4	Direct energy efficiency (直接エネルギー効率)	エネルギー消費量の実績値を生産量をベースに評価	実績値のみを対象として評価している	同方法で計画値を算出し評価すると、「2」や「3」と同じとなる。
5	Direct net energy efficiency (直接正味エネルギー効率)	エネルギー消費量の実績値を生産したものの内の良品量をベースに評価		

# KPI (ISO 22400エネルギー消費量と二酸化炭素排出量)

## ① ISO22400の総合エネルギー消費量 (Comprehensive energy consumption)

$$E = \sum M_i * R_i + Q$$

$$e = E/PQ = (\sum M_i * R_i + Q) / PQ$$

- E: 総合エネルギー消費量
- e: ユニットの単位エネルギー消費量
- PQ: 生産量
- $M_i$ : 測定可能な実エネルギー消費量
- $R_i$ : エネルギー変換係数
- Q: 環境とのエネルギー量交換

## ①' 上記に模して、総合二酸化炭素排出量 (Comprehensive carbon dioxide emission) に関するKPIを算出する。

$$C = \sum M_i \times RC_i + QC$$

$$c = C/PQ = (\sum M_i \times RC_i + QC) / PQ$$

- C: 総合二酸化炭素排出量
- c: ユニット単位の二酸化炭素排出量
- PQ: 生産量 (produced quantity)
- $M_i$ : 測定可能な実二酸化炭素排出量
- $RC_i$ : 二酸化炭素変換係数
- QC: 環境との二酸化炭素交換量

## ② 直接エネルギー消費効率 (Direct energy consumption effectiveness)

$$\text{DECE}[\%] = (\text{PDEI} \times \text{PQ} / \text{ADEC}) \times 100$$

## ③ 直接正味エネルギー消費効率 (Direct net energy consumption effectiveness)

$$\text{DNECE}[\%] = (\text{PDEI} \times \text{GQ} / \text{ADEC}) \times 100$$

## ④ 直接エネルギー効率 (Direct energy effectiveness)

$$\text{DEE} = \text{ADEC} / \text{PQ}$$

## ⑤ 直接正味エネルギー効率 (Direct net energy effectiveness)

$$\text{DNEE} = \text{ADEC} / \text{GQ}$$

- DECE: 直接エネルギー消費効率 (direct energy consumption effectiveness)
- DNECE: 直接正味エネルギー消費効率 (direct energy consumption effectiveness)
- DEE: 直接エネルギー効率 (direct energy consumption effectiveness)
- DNEE: 直接正味エネルギー効率 (direct energy consumption effectiveness)
- PDEI: 直接エネルギー消費量原単位計画値 (planned direct energy consumption per item)
- ADEC: 直接エネルギー消費量実績値 (actual direct energy consumption)
- PQ: 生産量 (produced quantity)
- GQ: 良品量 (good quantity)

(ADEC: 前出の「E」の実績値にあたる。 PDEI: 前出の「e」の計画値から導き出す。)

(ISO 22400-2AMDより引用、邦訳は独自)

## KPI（二酸化炭素排出量へ拡張）

②' 直接二酸化炭素排出効率（Direct carbon dioxide emission effectiveness）

$$\text{DCDEE}[\%] = (\text{PDCDEI} \times \text{PQ} / \text{ADCDE}) \times 100$$

③' 直接正味二酸化炭素排出効率（Direct net carbon dioxide emission effectiveness）

$$\text{DNCDEE}[\%] = (\text{PDCDEI} \times \text{GQ} / \text{ADCDE}) \times 100$$

④' 直接二酸化炭素効率（Direct carbon dioxide effectiveness）

$$\text{DCDE} = \text{ADCDE} / \text{PQ}$$

⑤' 直接正味二酸化炭素効率（Direct net carbon dioxide effectiveness）

$$\text{DNCDE} = \text{ADCDE} / \text{GQ}$$

- DCDEE: 直接二酸化炭素排出効率（direct carbon dioxide emission effectiveness）
- DNCDEE: 直接正味二酸化炭素排出効率（direct carbon dioxide emission effectiveness）
- DCDE: 直接二酸化炭素効率（direct carbon dioxide effectiveness）
- DNCDE: 直接正味二酸化炭素効率（direct carbon dioxide effectiveness）
- PDCDEI: 直接二酸化炭素排出量原単位計画値（planned direct carbon dioxide emission per item）
- ADCDE: 直接二酸化炭素排出量実績値（actual direct carbon dioxide emission）
- PQ: 生産量（produced quantity）
- GQ: 良品量（good quantity）

（ADCDE: 前出の「C」の実績値にあたる。PDCDEI: 前出の「c」の計画値から導き出す。）

（ISO 22400-2AMDより導出、邦訳は独自）

# 二酸化炭素排出量算出の概要

生産指示

材料  
データ

環境  
データ

二酸化炭素排出量算出系



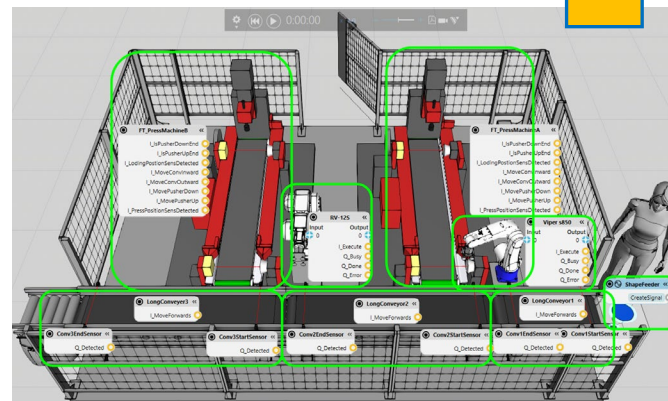
炭素  
データ

生産  
指示

生産  
指示

現場  
(データ収集  
対象)

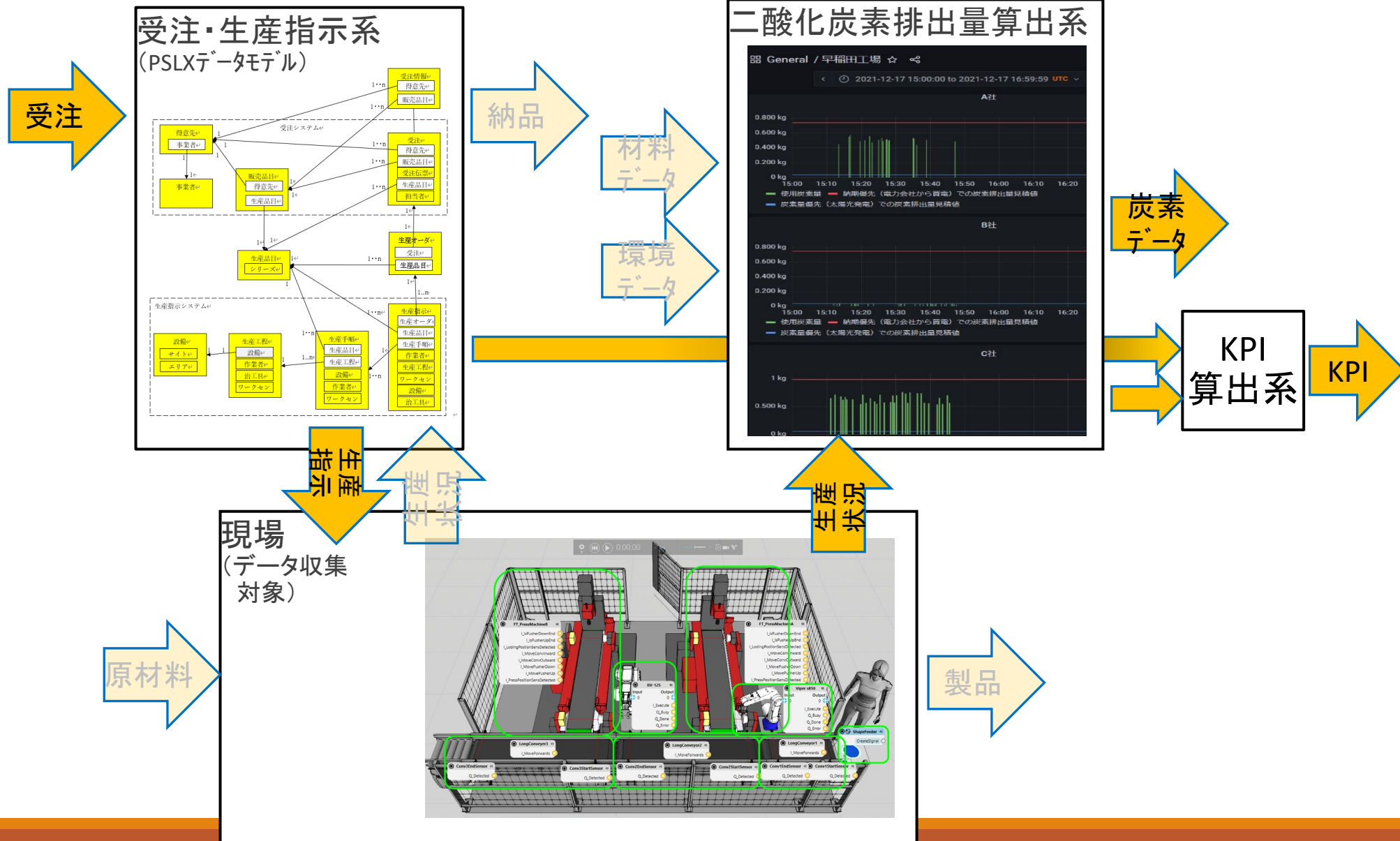
原材料



製品



# 二酸化炭素排出量算出の概要



# 受注関連・生産指示データモデル(DB)

## ◆ 特徴

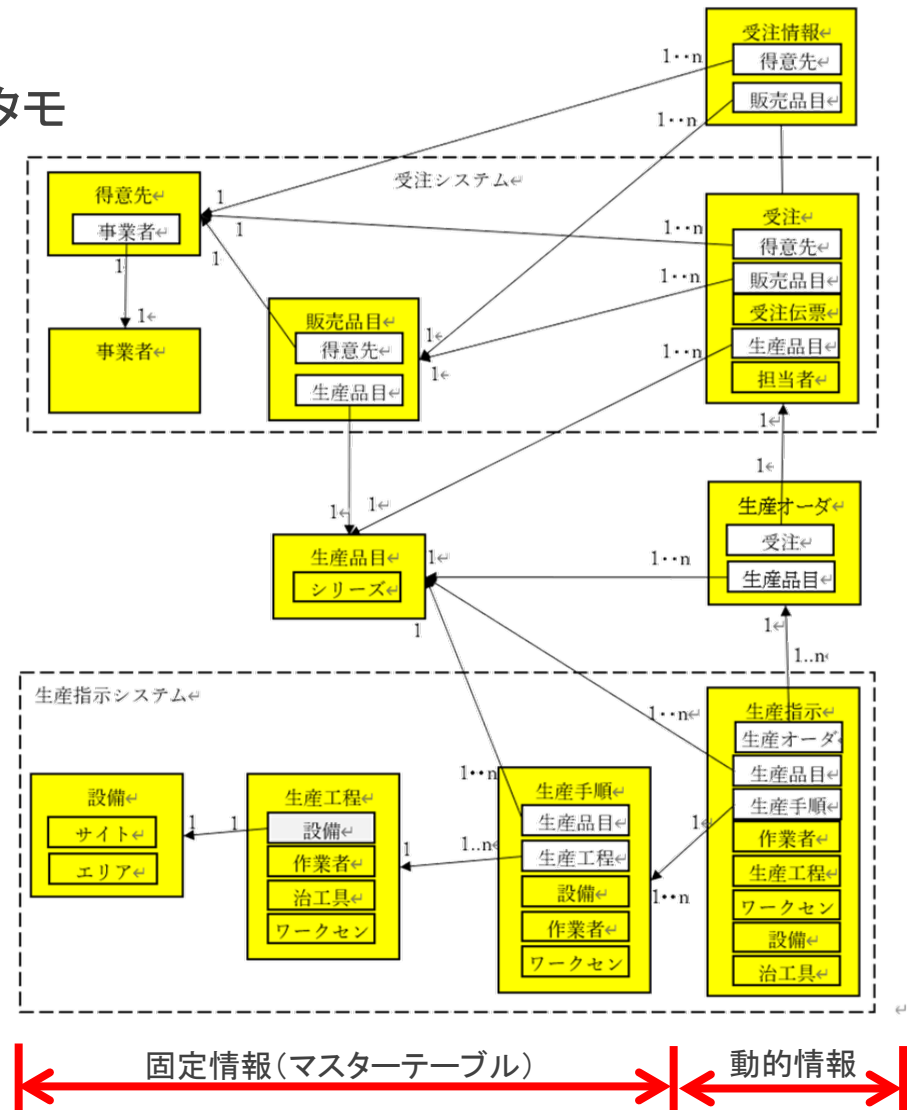
- PSLXデータモデルを採用(公開データモデル)
- DB(PostgreSQL)にて実装

## ◆ 受注関連データテーブル

- 動的情報
  - ・ 受注情報(非PSLX)
  - ・ 受注
- 固定値
  - ・ 販売品目
  - ・ 販売見積
  - ・ 得意先
  - ・ 事業者

## ◆ 生産指示関連データテーブル

- 動的情報
  - ・ 生産オーダ
  - ・ 生産指示
- 固定値
  - ・ 生産品目
  - ・ 生産手順
  - ・ 生産工程
  - ・ 設備



# 受注から生産指示までのデータの流れ

## 受注

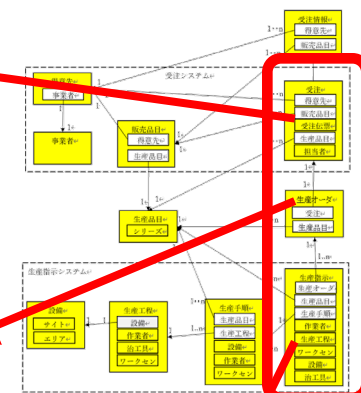
no	受注id [text]	得意先id [text]	販売品目id [text]	ステータス [text]	数量 [integer]	受注日 [timestamp with time zone]	納入希望日 [timestamp with time zone]	出荷予定日 [timestamp with time zone]	出荷日時 [timestamp with time zone]	備考 [text]
1	OR0001	CU0001	IN0001	処理済	1	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
2	OR0002	CU0002	IN0002	処理済	3	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
3	OR0003	CU0003	IN0003	処理済	2	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
4	OR0001	CU0001	IN0001	処理済	2	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
5	OR0002	CU0002	IN0002	処理済	1	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
6	OR0003	CU0003	IN0003	処理済	1	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None

## 生産 オーダ

no	生産オーダid [text]	生産品目id [text]	受注id [text]	ステータス [text]	数量 [integer]	実績値 [integer]	開始日時 [timestamp with time zone]	終了日時 [timestamp with time zone]	着手日時 [timestamp with time zone]	完了日時 [timestamp with time zone]	備考 [text]
1	PO0001	PN0001	OR0001	処理済	1	0	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
2	PO0002	PN0002	OR0002	処理済	3	0	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
3	PO0003	PN0003	OR0003	処理済	2	0	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
4	PO0004	PN0001	OR0001	処理済	2	0	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
5	PO0005	PN0002	OR0002	処理済	1	0	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
6	PO0006	PN0003	OR0003	処理済	1	0	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None

## 生産 指示 (指図)

no	生産指示id [text]	生産オーダid [text]	生産手順id [text]	生産品目id [text]	生産工程id [text]	ステータス [text]	数量 [integer]	実績値 [integer]	予定日時 [timestamp with time zone]	実施日時 [timestamp with time zone]	着手日時 [timestamp with time zone]	完了日時 [timestamp with time zone]	備考 [text]
1	PI0001	PO0001	PS0000	PN0001	PR0001	処理済	1	0	2022/05/10 10:00:00	2023/02/03 12:10:14	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
2	PI0002	PO0002	PS0000	PN0002	PR0001	処理済	3	0	2022/05/10 10:00:00	2023/02/03 12:11:00	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
3	PI0003	PO0003	PS0000	PN0003	PR0001	処理済	2	0	2022/05/10 10:00:00	2023/02/03 12:12:23	2022/05/10 10:00:00	2022/05/20 10:00:00	None
4	PI0004	PO0004	PS0000	PN0001	PR0001	処理済	2	0	2022/05/20 10:00:00	2023/02/03 12:14:04	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
5	PI0005	PO0005	PS0000	PN0002	PR0001	処理済	1	0	2022/05/20 10:00:00	2023/02/03 12:15:00	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None
6	PI0006	PO0006	PS0000	PN0003	PR0001	処理済	1	0	2022/05/20 10:00:00	2023/02/03 12:15:38	2022/05/20 10:00:00	2022/05/30 10:00:00	None



# データモデル(DBテーブル全体)

No	区分	テーブル名	備考
1	二酸化炭素排出量 関連情報	設備毎ワーク消費電力量	
2		設備毎ワーク二酸化炭素排出量	
3		ワーク二酸化炭素排出量	
4		ロット二酸化炭素排出量	
5		品番二酸化炭素排出量	
6		電力プロファイル	
7	受注関連情報	受注情報	
8		受注	PSLX準拠
9		販売品目	PSLX準拠
10		販売見積	PSLX準拠
11	顧客関連情報	得意先	PSLX準拠
12		事業者	PSLX準拠
13	生産指示関連情報	生産品目	PSLX準拠(拡張:標準重量)
14		生産オーダー	PSLX準拠
15		生産指示	PSLX準拠
16	製造関連情報 (生産現場)	生産手順	PSLX準拠
17		生産工程	PSLX準拠(拡張:標準消費電力)
18		設備	PSLX準拠

# CFP計測システムへのマッピング

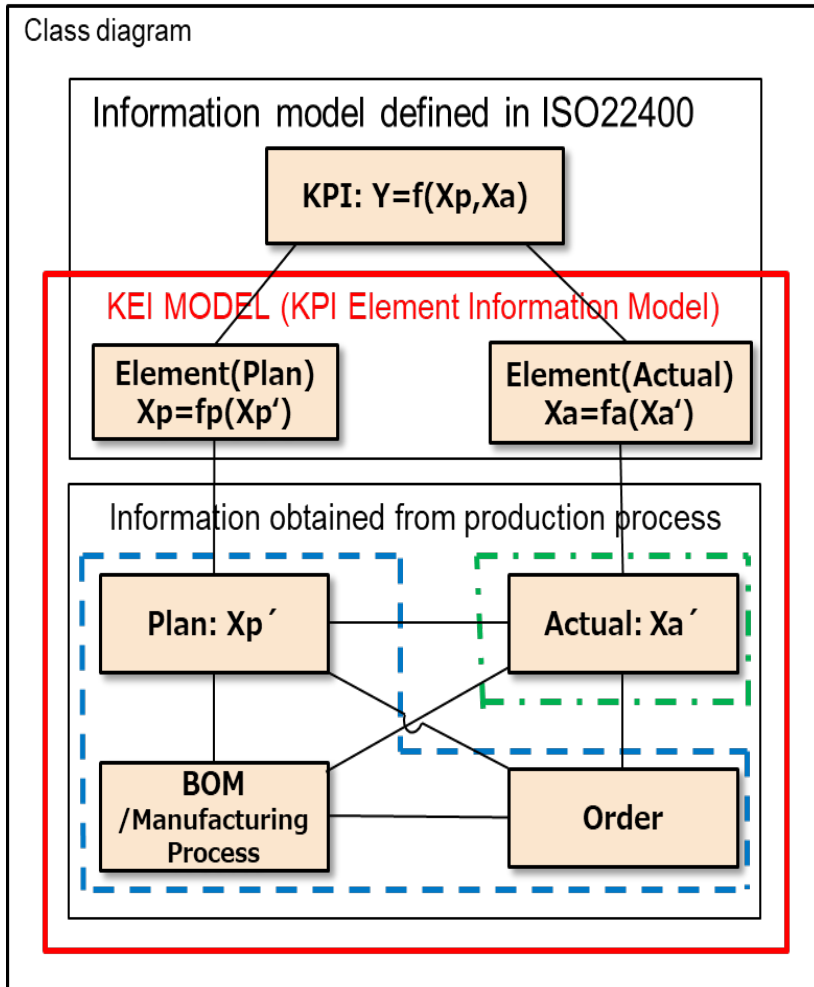
	22400名称	計画値 (plan)	実績値 (actual)	備考
1	C	総二酸化炭素排出量の予測値 [Cp]	総二酸化炭素排出量の実績値 [Ca]	
2	c	単位二酸化炭素排出量の予測値 [cp]	単位二酸化炭素排出量の実測値 [ca]	
3	PQ	受注テーブルで示される受注内容の重量 総和(ton)。数量は受注テーブルの数量から、 各受注品の重量は、生産品目テーブルの重量項(追加項目)のデータから得る。 (*1) [PQp] → 受注テーブル: 数量 * 生産品目テーブル: 重量 (*1)	ワーク二酸化炭素排出量テーブルで示される生産内容の重量の総和(ton)。数量はワーク二酸化炭素排出量テーブルの生産量から、各生産品の重量は、生産品目テーブルの重量項(追加項目)のデータから得る。(*1) [PQa] → ワーク二酸化炭素排出量テーブル: 生産量 * 生産品目テーブル: 重量項(追加項目)	歩留まり等がに影響を及ぼす。
4	Mi	各工程での電力消費量は、生産工程テーブルの電力消費量項に記載されているものを使用。 [Mpi] → 生産工程テーブル: 電力消費量項 (*2)	ワークを処理時に各工程で計測した電力消費量を使用。 [Mai] → 設備毎ワーク消費電力量テーブル: 電力量	歩留まり、スケジューリング情報などが影響を及ぼす。
5	RCi	計画した電気を使用した際の電力二酸化炭素排変換係数。生産条件によって異なる。ex.炭素量優先、コスト優先、納期優先、等。 [RCpi] → 想定電力量係数 (*3)	その作業を行った際に利用した電力の変換係数。生産条件によって異なるソースの電力を利用する。ex.太陽光やCN電力、通常電力、ピークカット時の自家発電、等 [RCai] → 設備毎ワーク消費電力量テーブル: 電力量係数	生産条件や天候、外部の電力需要状況による電力会社からの要求などが影響を及ぼす。
6	QC	工場・企業の様々な計画値から算出した環境との効果的二酸化炭素交換量。材料などの生産や生産していない時、空調、建屋維持に係る二酸化炭素排出量の予測値が含まれる。 [QCp] → 0	工場・企業の様々な実測値から算出した環境との効果的二酸化炭素交換量。確定する時間は遅れるため、暫定的には計画値を用い、確定後に再計算する必要がある。材料などの生産や生産していない時、空調、建屋維持に係る二酸化炭素排出量の実績値が含まれる。 [QCa] → 0	各生産物への分配方法が重要となる。

\*1,\*2: PSLXデータモデルの拡張

\*3: 電力会社等の発表している係数を使用

# KPIのためのKEIモデル

Class diagram



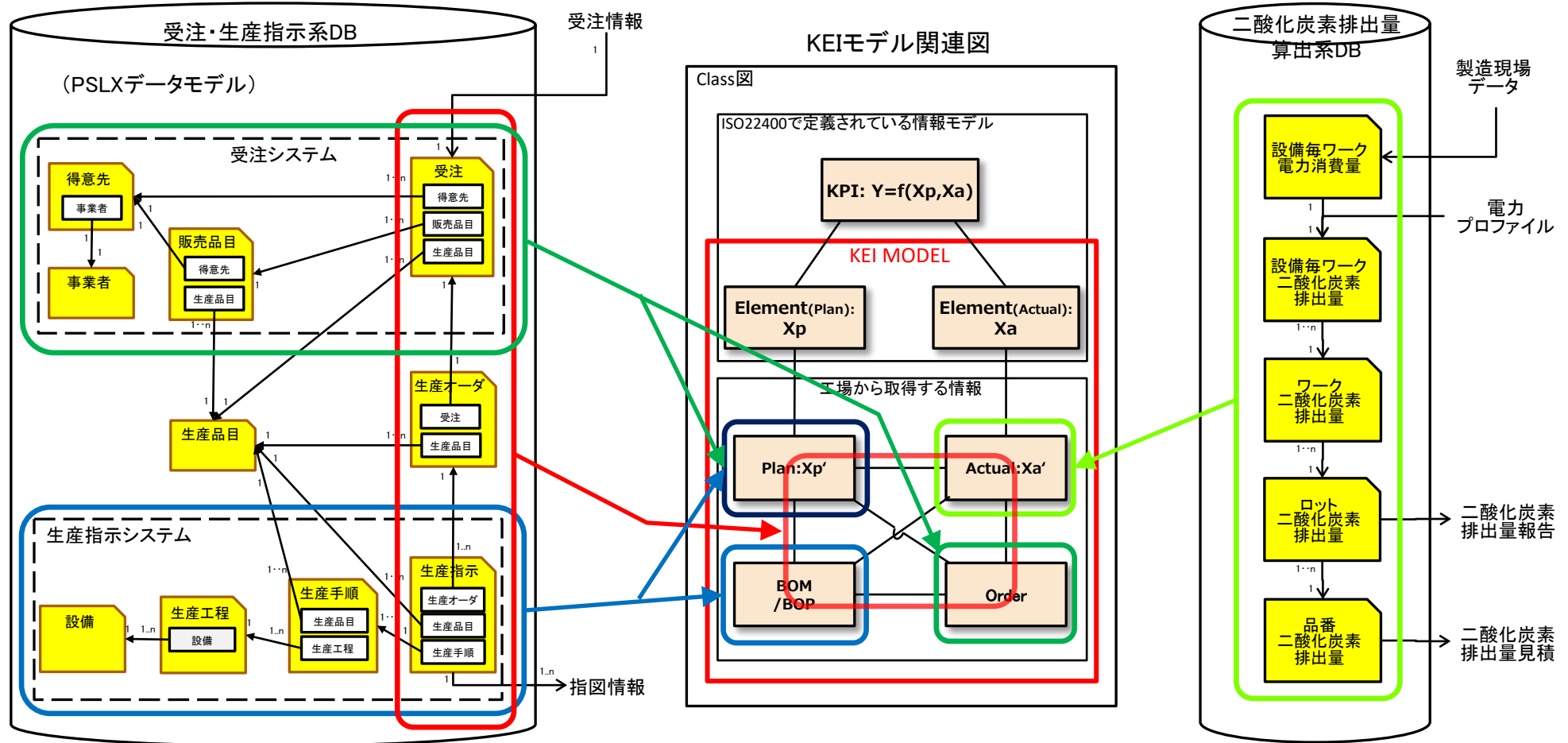
--- ISA95 Levels 3-4 Data(IT side)  
 -.- ISA95 Levels 1-2 Data(OT side)

KEIモデル：計画値と実績値の比較結果を評価(KPI)

- KPI:  $KPI=f(X_p, X_a)$
- $X_p$ : Element(plan)  $X_p=f_p(X_p')$
- $X_a$ : Element(actual)  $X_a=f_a(X_a')$
- $X_p'$ : Control Domain data(Plan)
- $X_a'$ : Control Domain data(actual)
- Order: 受注関連情報
- BOM/BOP: 生産設備

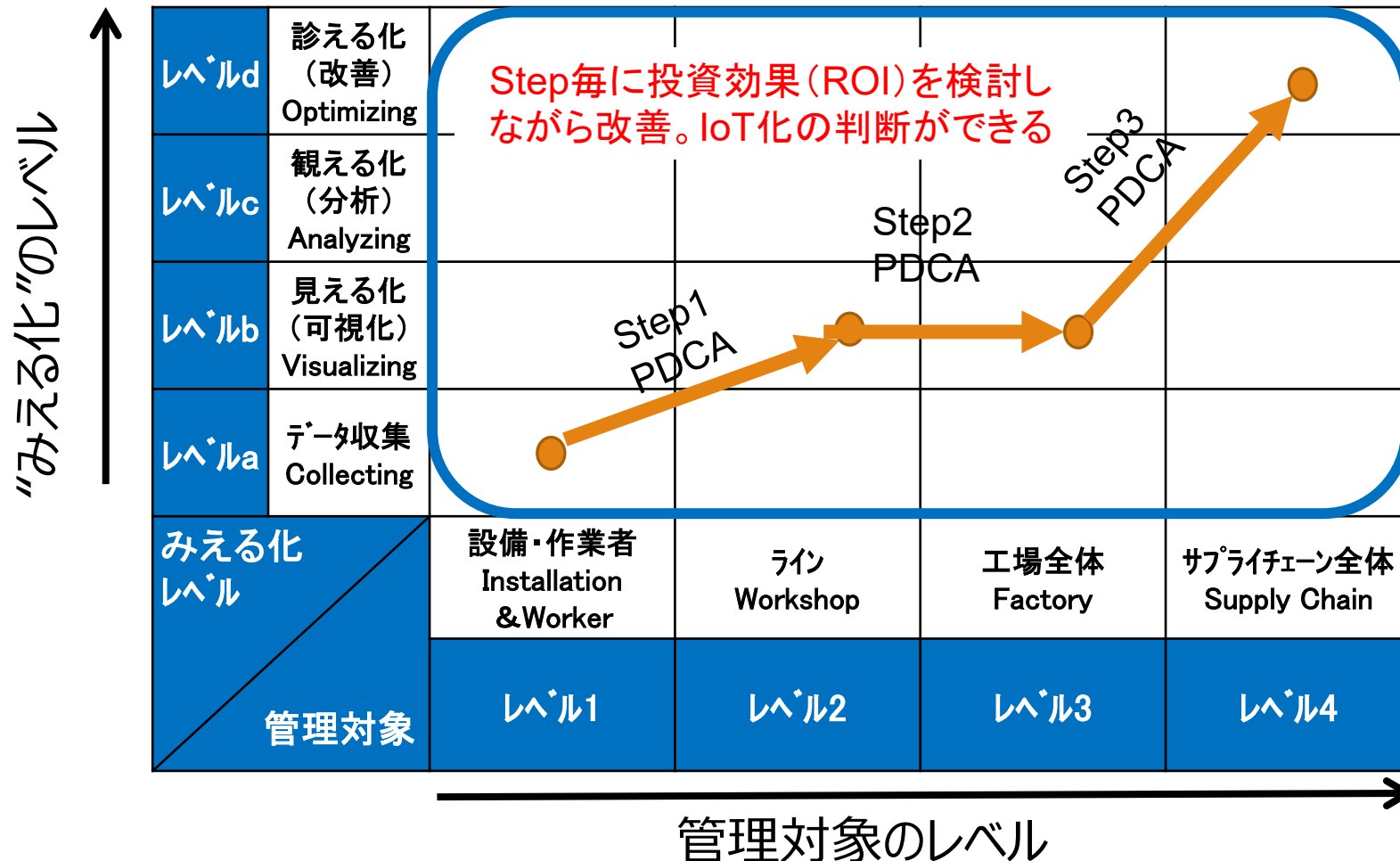


# 炭素排出情報KPIに関するKEIモデルの構造

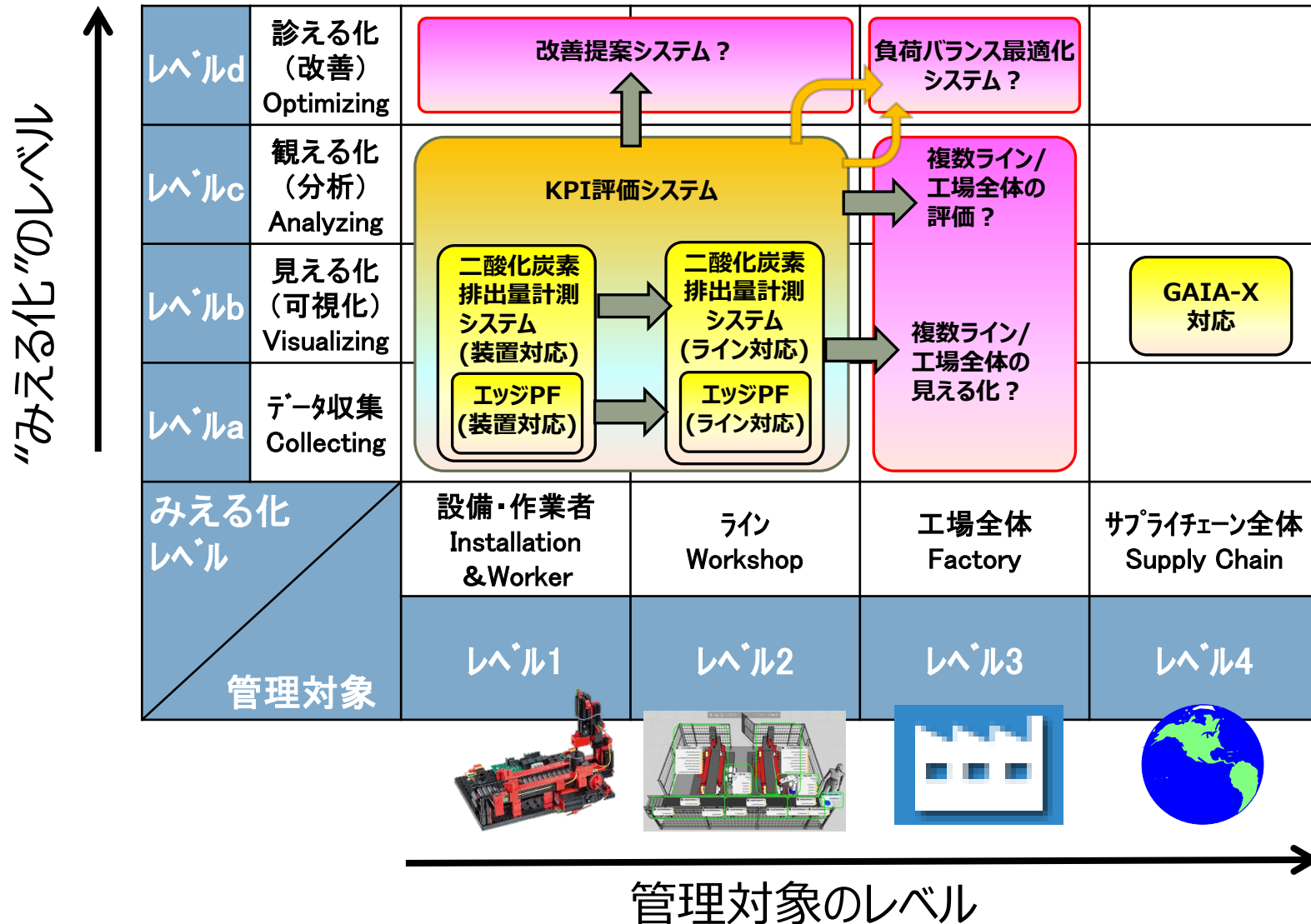


# SMKLとは？

16個のマスで表す、製造現場の見える化/IoT化の  
評価指標（物差し）の一つである



# SMKL : 適用事例 (炭素排出量計測)



## ◆ 今回の発表のまとめ

- 現場データから二酸化炭素排出量計測を行うシステムを構築。
- 二酸化炭素排出量のKPI評価システムの実装案を提示。

## ◆ 今後の展開

### □ KEIモデルのさらなる展開

- ISO 22400で規定されている他のKPIへの展開と実証
- 機能開発: KPIへの対応、シミュレーション環境への機能拡充

### □ カーボンニュートラル関連

- CFP低減のためのスコープ1/2の改善策の評価方法としてのKPIの適用(分配への対応、他)
- スコープ3への対応(サプライチェーン全体でのCFP低減のための機能提言)

### □ 他のコンソーシアムとの連携

- RRI、IVI、OPCF、Green x Digitalコンソーシアム、他

ご清聴ありがとうございました