

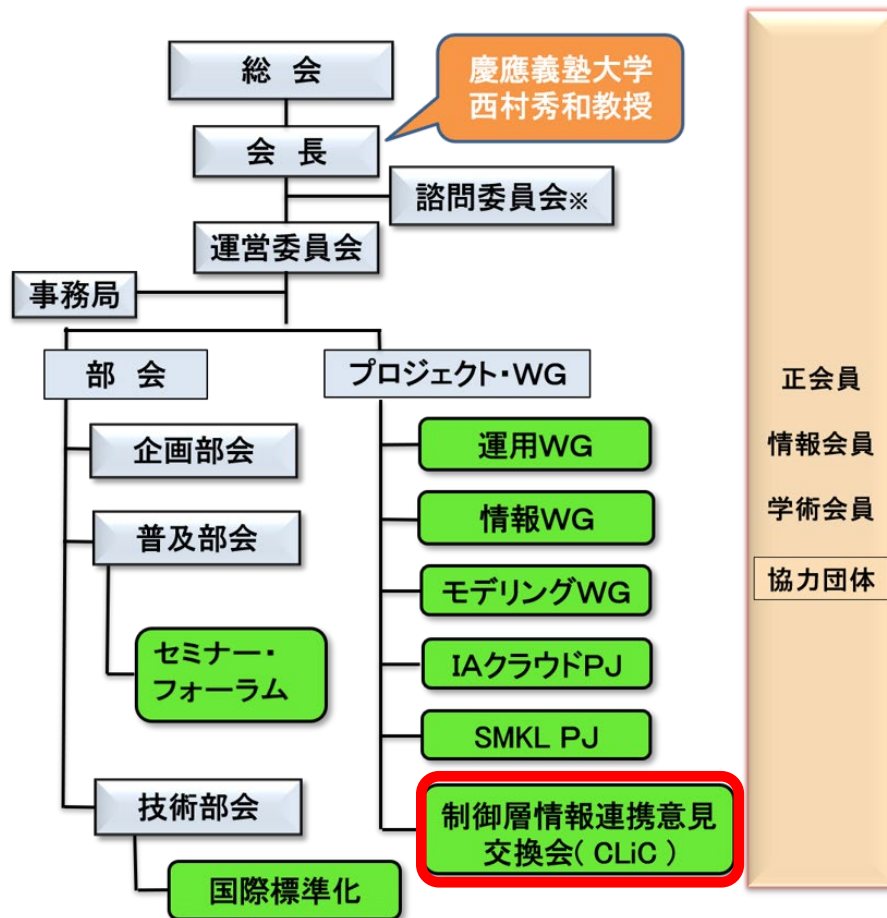
CFPを算出するためのデータを表す 情報モデルの提案 ～KEIモデルの活用～

2022年12月8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概要(活動目的と体制)

IAFの組織図と事業活動(: 事業活動) IAF会員



※ 諮問委員会 (ユーザ企業・ベンダー企業数社の役員クラスで構成) はIAFの運営等について助言をおこなう。

- ・ IAFは次世代の工場を考える製造業関係者が、多くの標準化団体と協力して新しい生産技術を模索していこうと考え設立
- ・ ユーザとベンダーが協調して、市場に直結したものの造り技術の開発をFA/PAの分野を越えて、広い連携と変化に即応できるプロジェクト体制で推進
- ・ 現在、IAFではユーザとベンダーが参加してWG活動を推進

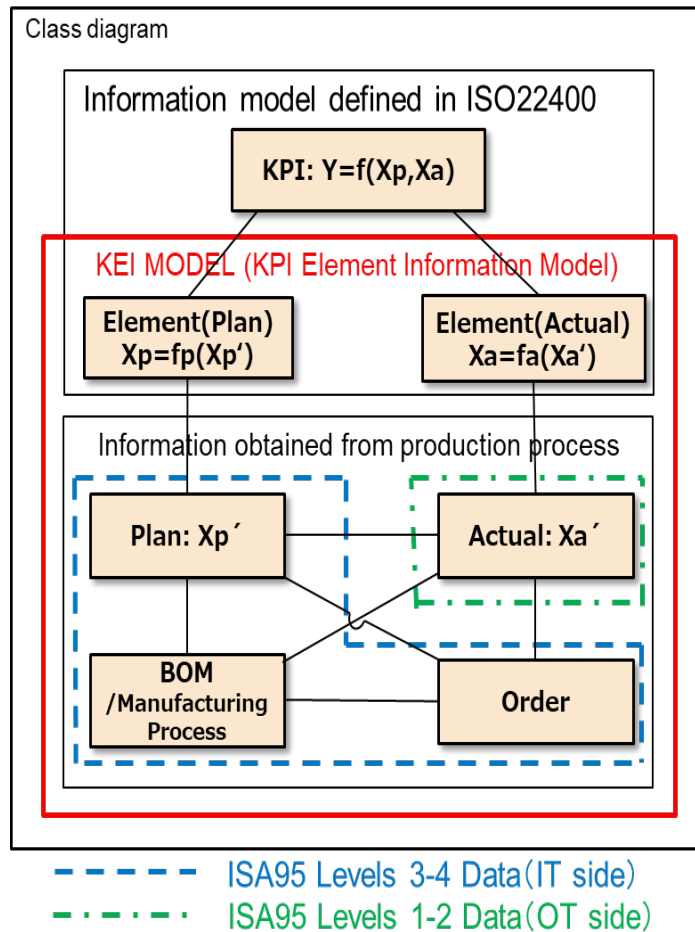
皆さまの、ご参加をお待ちしております。

※ IAFの会員(正会員、情報会員、学会員)はすべてのWGに参加可能

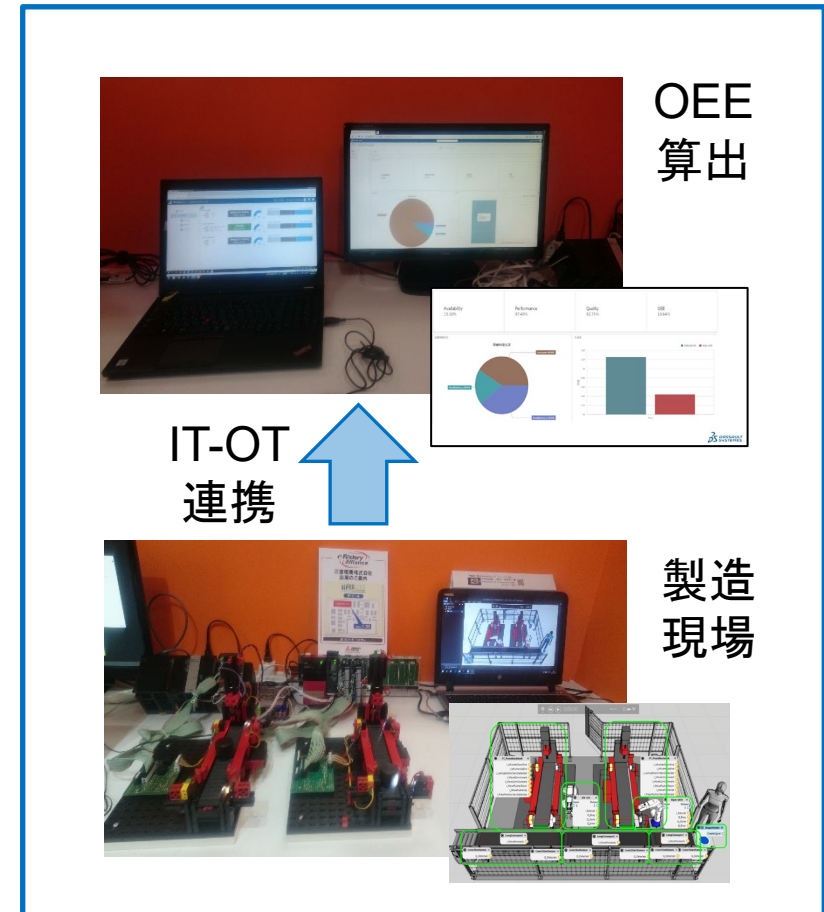
事務局:



一般財団法人 製造科学技術センター
Manufacturing Science and Technology Center



IAF-CLiCの提唱するKEIモデル



IIFES2019展示(OEE計測システム)

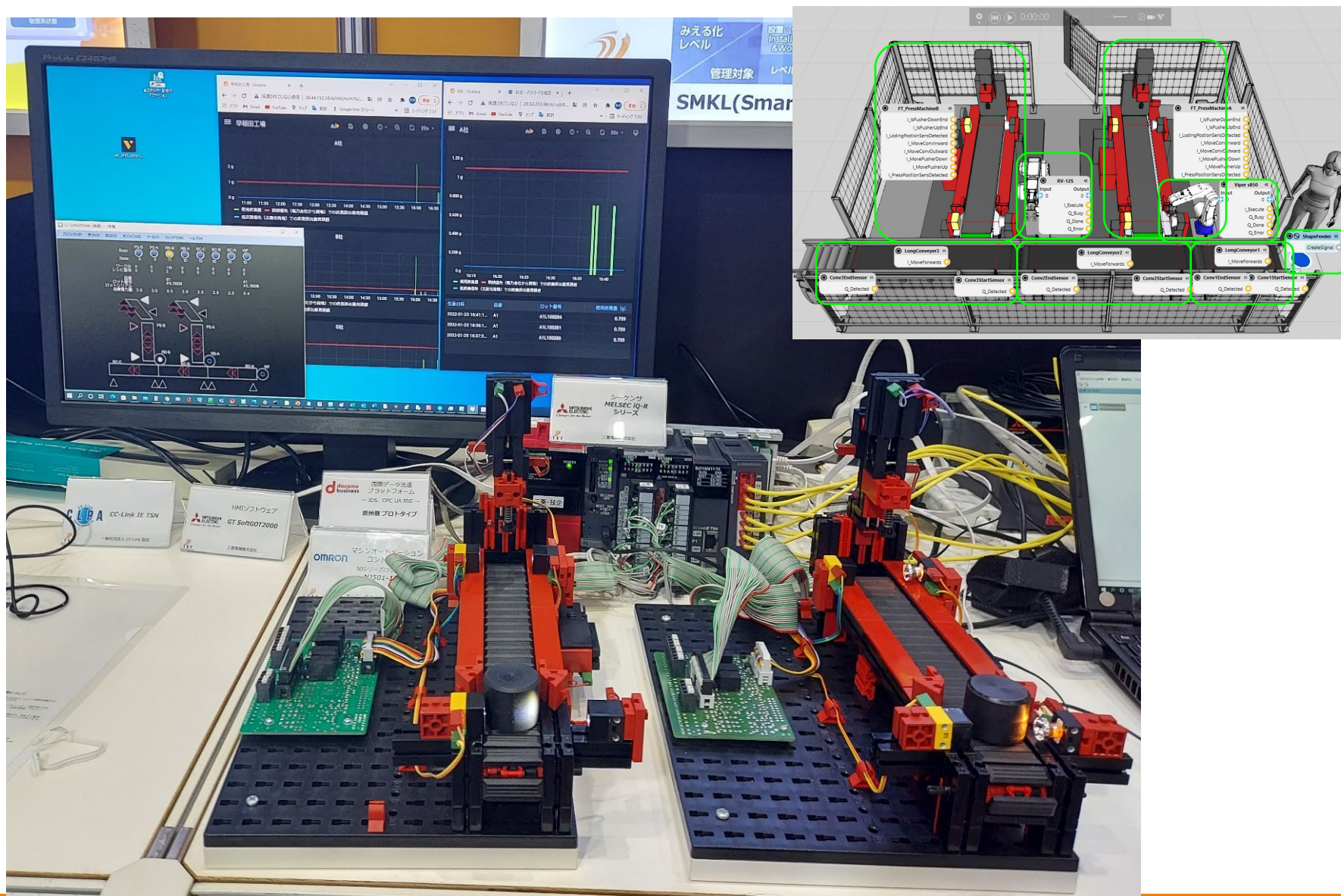
想定されるユースケース

- ◆ 脱炭素における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	調達部品に含まれる炭素量とコスト、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	エネルギー管理の内容、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	エネルギー消費の少ない生産方法	対象: 設備、加工方法
4		エネルギー管理	エネルギー計測	エネルギーの見える化が脱炭素につながる
5			ピークカットなどの計画	電力コストを軽減することが脱炭素につながる
6	顧客対応	顧客要求に関する見積もり返答	製品毎の使用予想炭素量	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、使用炭素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	製品毎の使用炭素量実績値	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	規制機関	検査	使用炭素量実績値、総量	対象: 製品、工場全体(裏付け情報も必要)

IIFES2022における実証システム



GAIA-X連携画面



製造会社画面(日本側)
(欧州のA,B,Cの3社に製品を出荷)

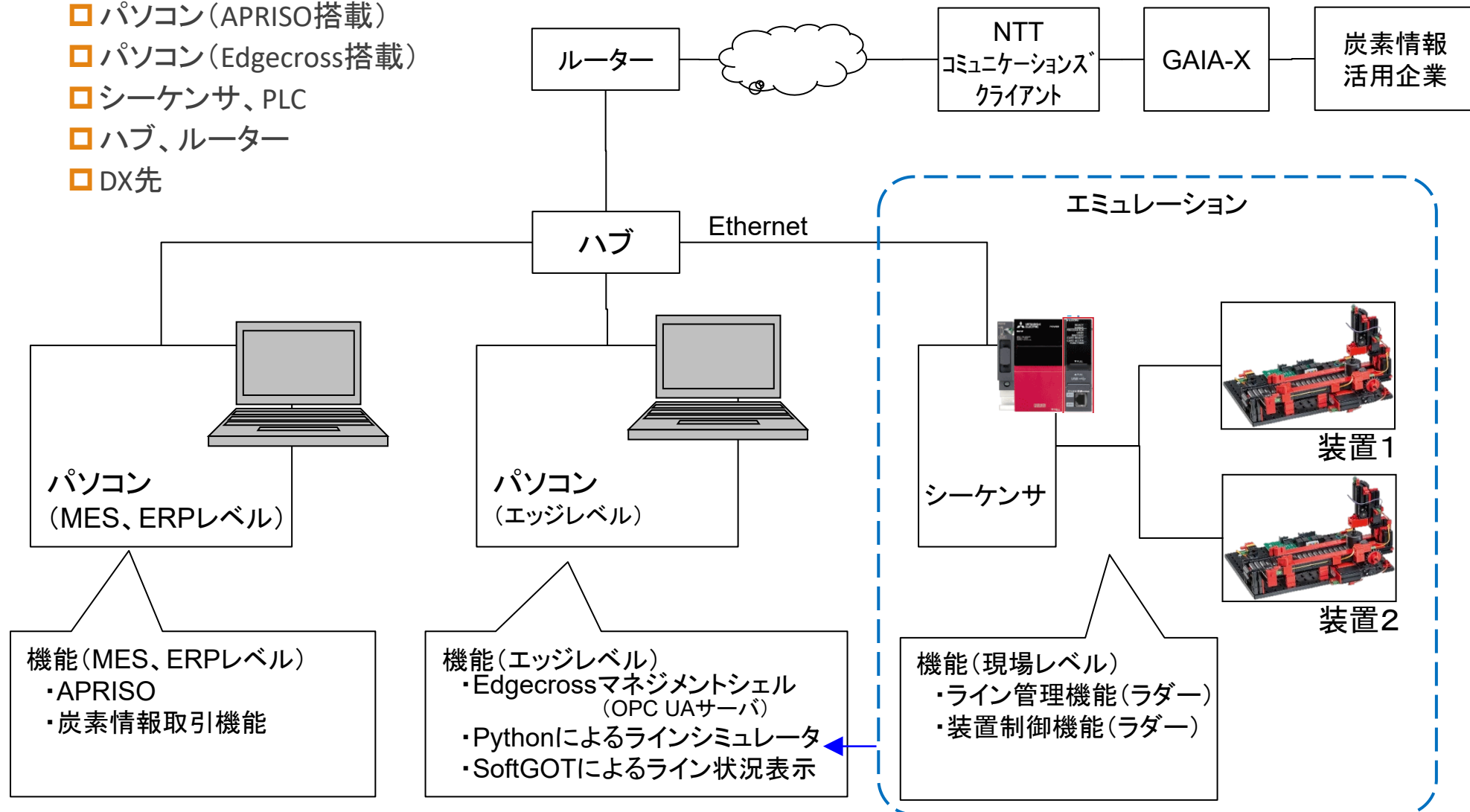


A社側画面(欧州企業)
(GAIA-Xの先のA社)

実証システム構成概要

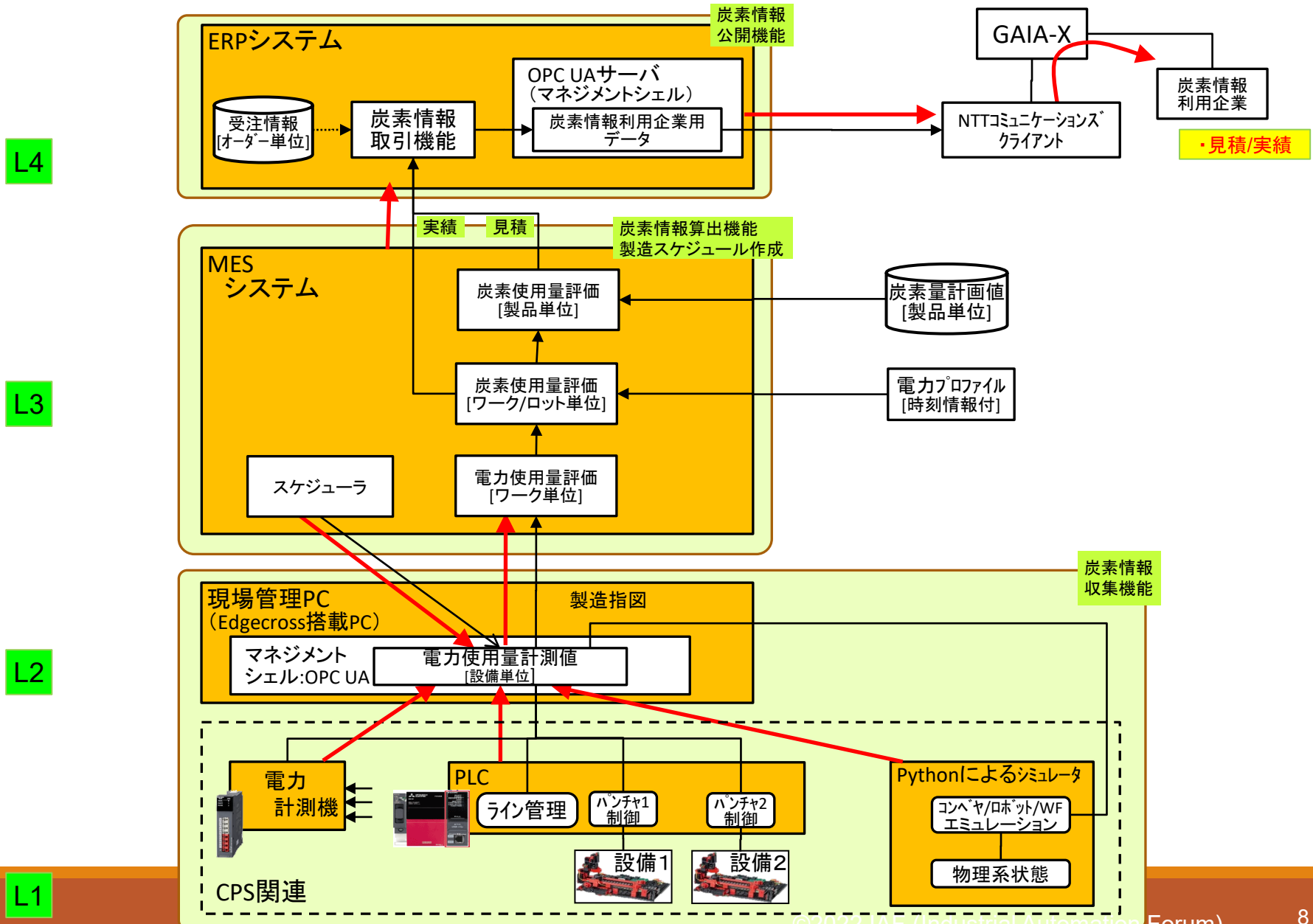
◆構成

- 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



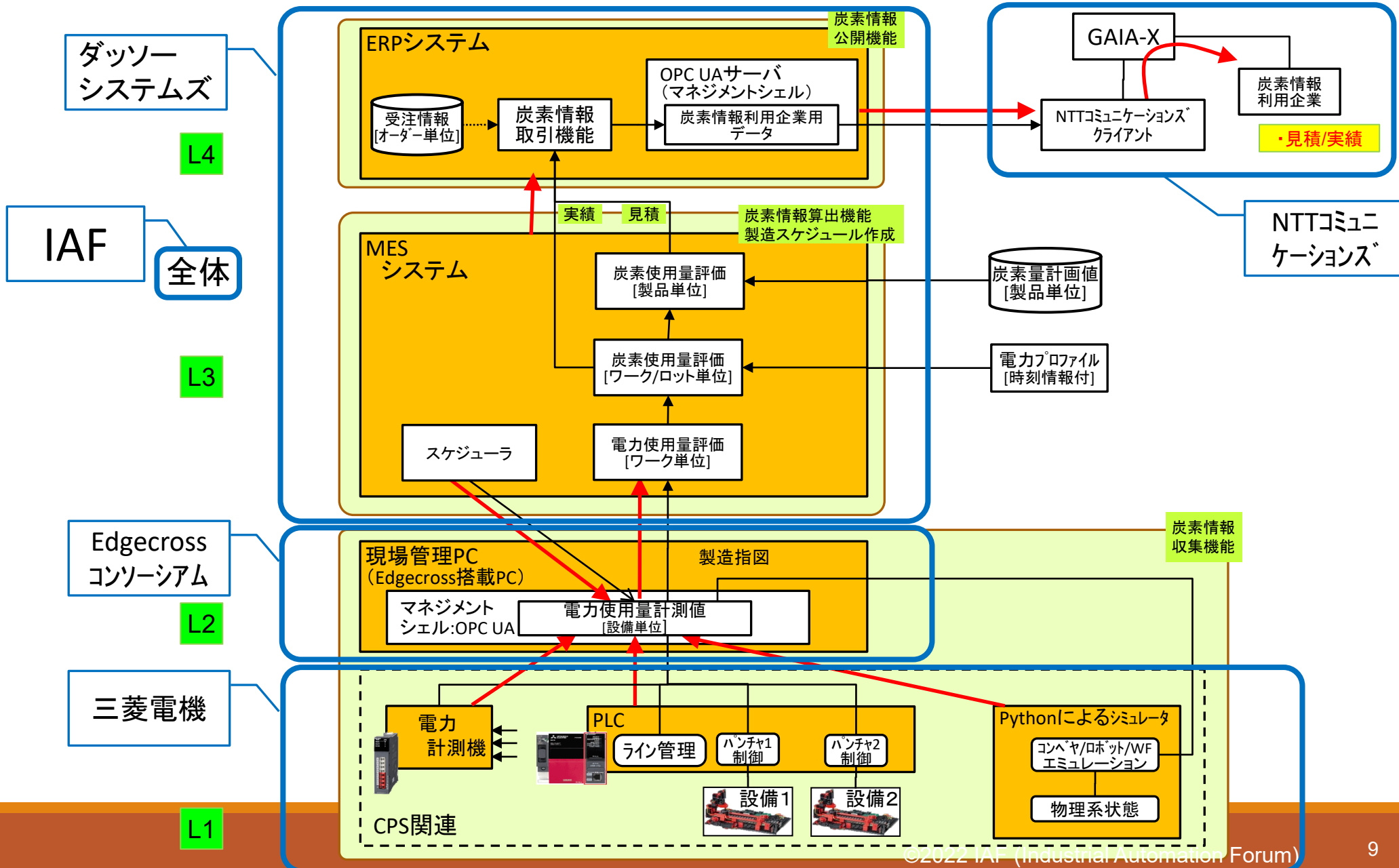
IIFES2022実証システム機能ブロック

(製造時の使用炭素量関連のみ記載)

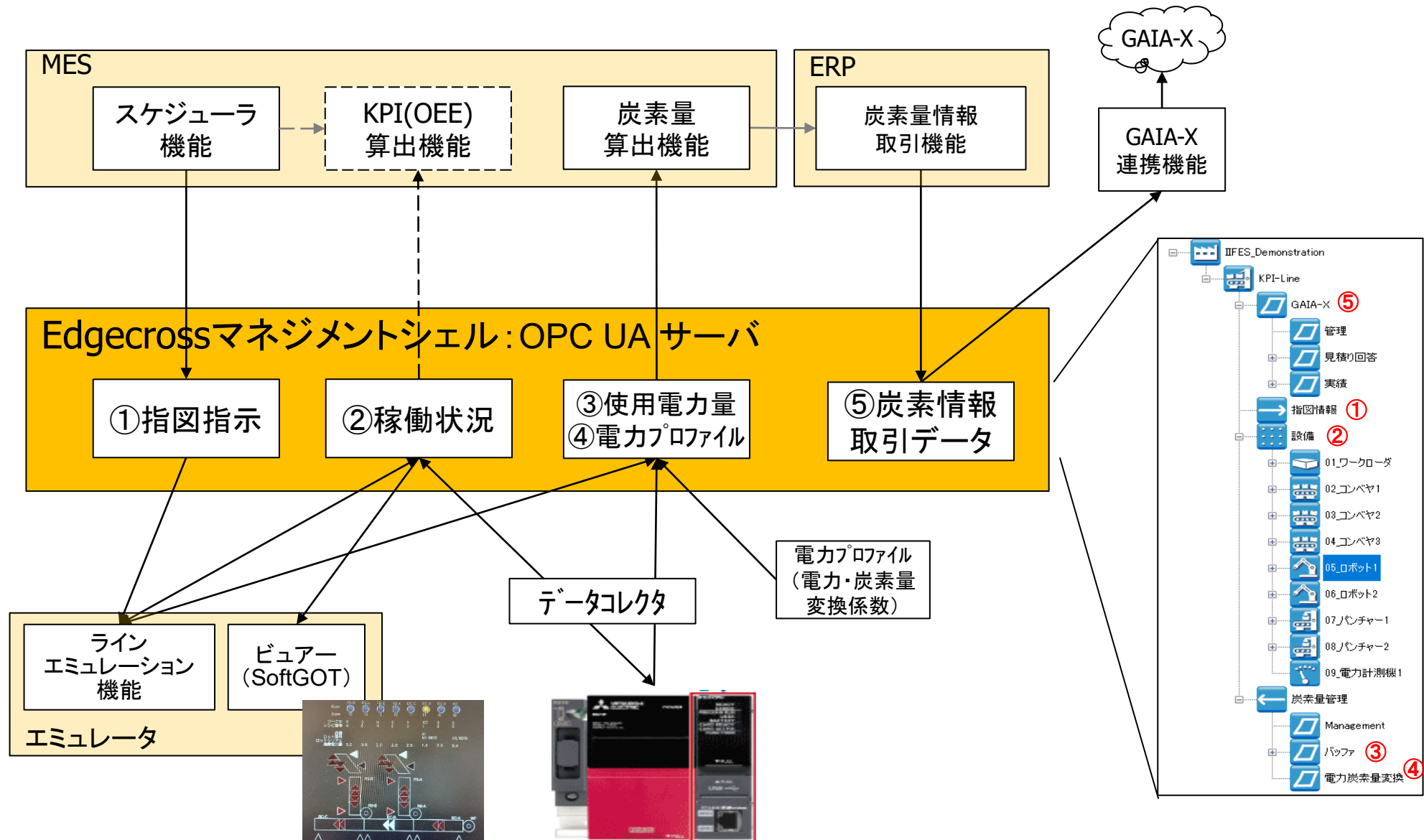


IIFES2022実証システム機能ブロック

(製造時の使用炭素量関連のみ記載)



OPC UA(マネジメントシェル)の役割 ～ データのハブ ～

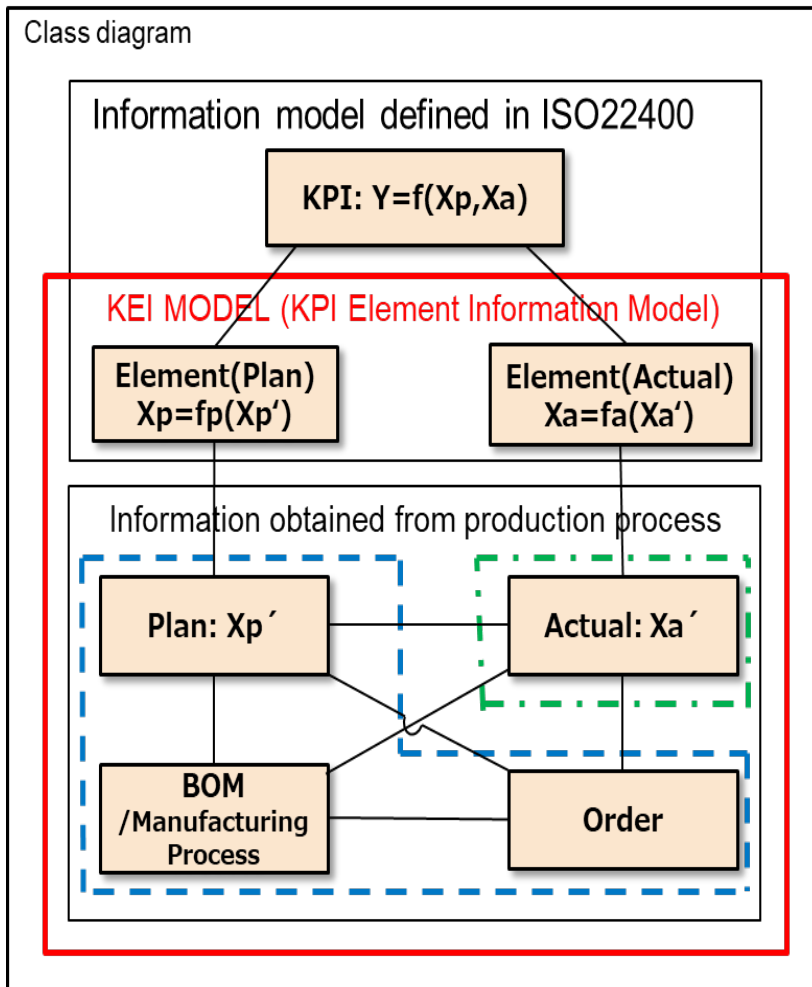


L1



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) $X_p=fp(X_p')$
- X_a : Element(actual) $X_a=fa(X_a')$
- 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

- ◆ ISO22400の総合エネルギー消費量に関連するKPIは式1で表される。

$$E = \sum M_i \times R_i + Q \quad \dots (\text{式1}) \quad (\text{ISO 22400-2より引用、邦訳は独自})$$

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

- E: 総合エネルギー消費量
- e: ユニットの単位エネルギー消費量
- 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

- ◆ さらに、Amendmentには、直接正味エネルギー消費効率の定義(式3)が追加され、KEIモデルに示されるような計画(PDEI)と実績(ADEC)の差異の評価に対応している。
- (ISO 22400-2AMDより引用、邦訳は独自)

$$DNEE[\%] = (PDEI \times GQ / ADEC) \times 100 \quad \dots (\text{式3})$$

- DNEE: 直接正味エネルギー消費効率 (Direct net 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)
- GQ: 良品量 (good quantity)

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

KPI（炭素消費量）

前式に模して、消費炭素量に関するKPIを算出する。

- ◆ 「総合エネルギー消費量」に対応する「総合二酸化炭素消費量」は以下で表される。

$$C = \sum M_i \times R_{Ci} + Q_C \quad \dots (式4)$$

$$c = C/PQ = (\sum M_i \times R_{Ci} + Q_C) / PQ \quad \dots (式5)$$

- C: 総合二酸化炭素消費量
- c: ユニットの単位二酸化炭素消費量
- PQ: 生産量
- M_i : 測定可能な実エネルギー消費量
- R_{Ci} : 二酸化炭素炭素変換係数
- Q_C : 環境との二酸化炭素量交換

- ◆ 「直接正味エネルギー消費効率」に対応する「直接正味二酸化炭素消費効率」は以下で表される。

$$DNCE[\%] = (PDCI \times GQ / ADCC) \times 100 \quad \dots (式6)$$

- DNCE: 直接正味エネルギー消費効率 (Direct net carbon consumption effectiveness)
- PDCI: 直接エネルギー消費量原単位計画値 (planned direct carbon consumption per item)
- ADCC: 直接エネルギー消費量実績値 (actual direct carbon consumption)
- GQ: 良品量 (good quantity)

(ADCC: 上記の「C」の実績値にあたる。 PDCI: 上記の「c」の計画値から導き出す。)

受注・生産指示関連データモデル

◆ 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(PSLX準拠)

□ 動的情報

- 受注情報(非PSLX)
- 受注 **[PQ]**

□ 固定値

- 販売品目
- 得意先
- 事業者

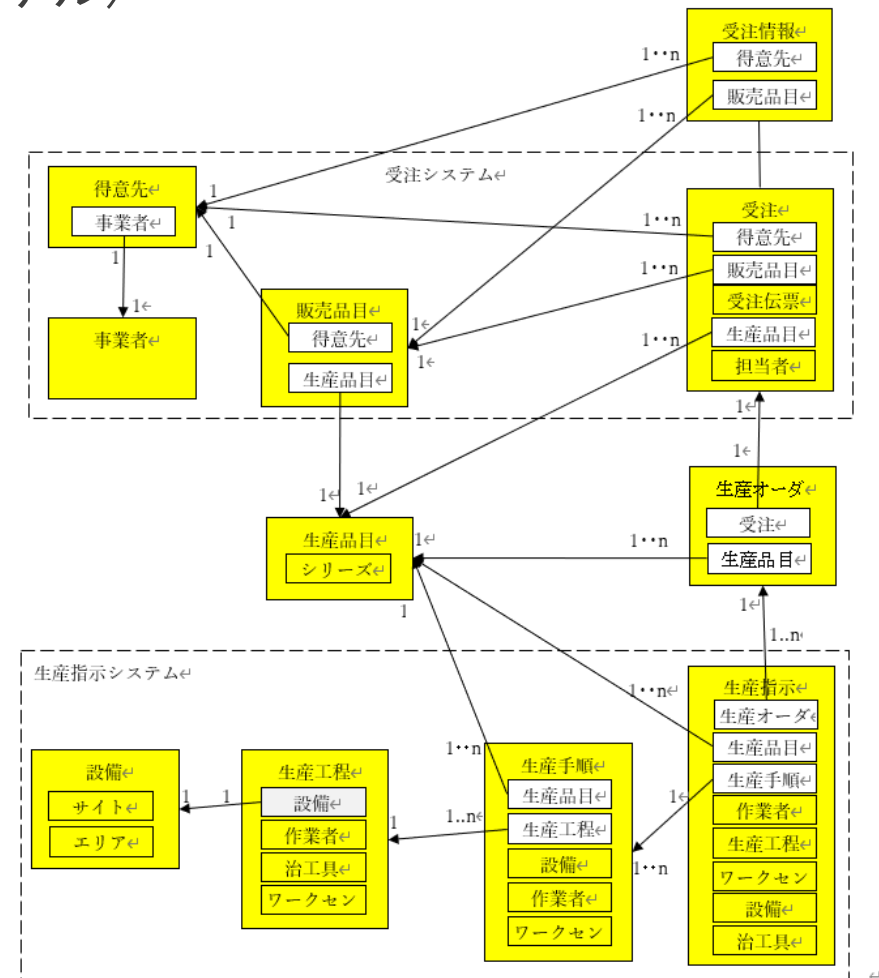
◆ 生産指示関連データテーブル

□ 動的情報

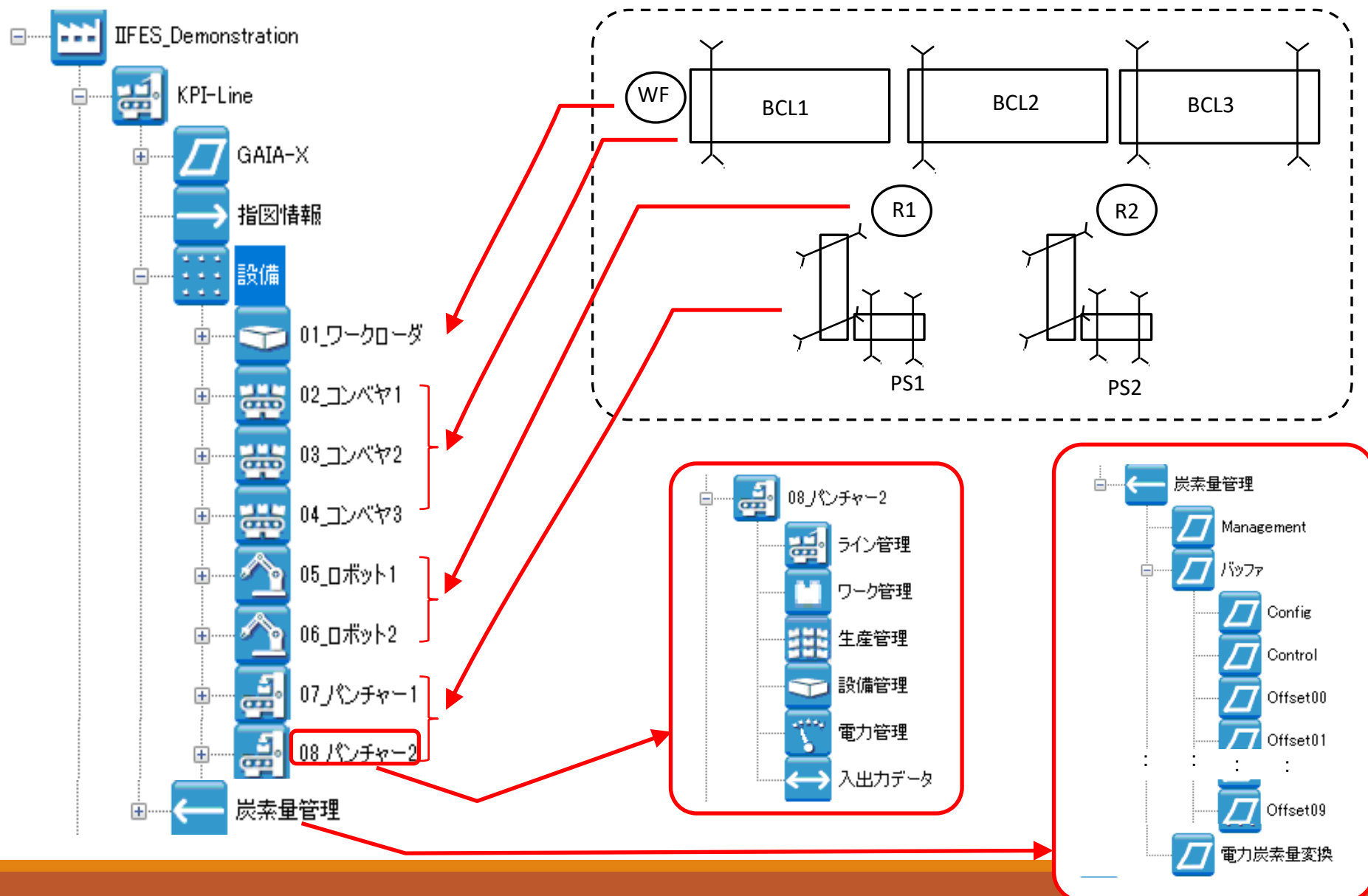
- 生産オーダー
- 生産指示

□ 固定値

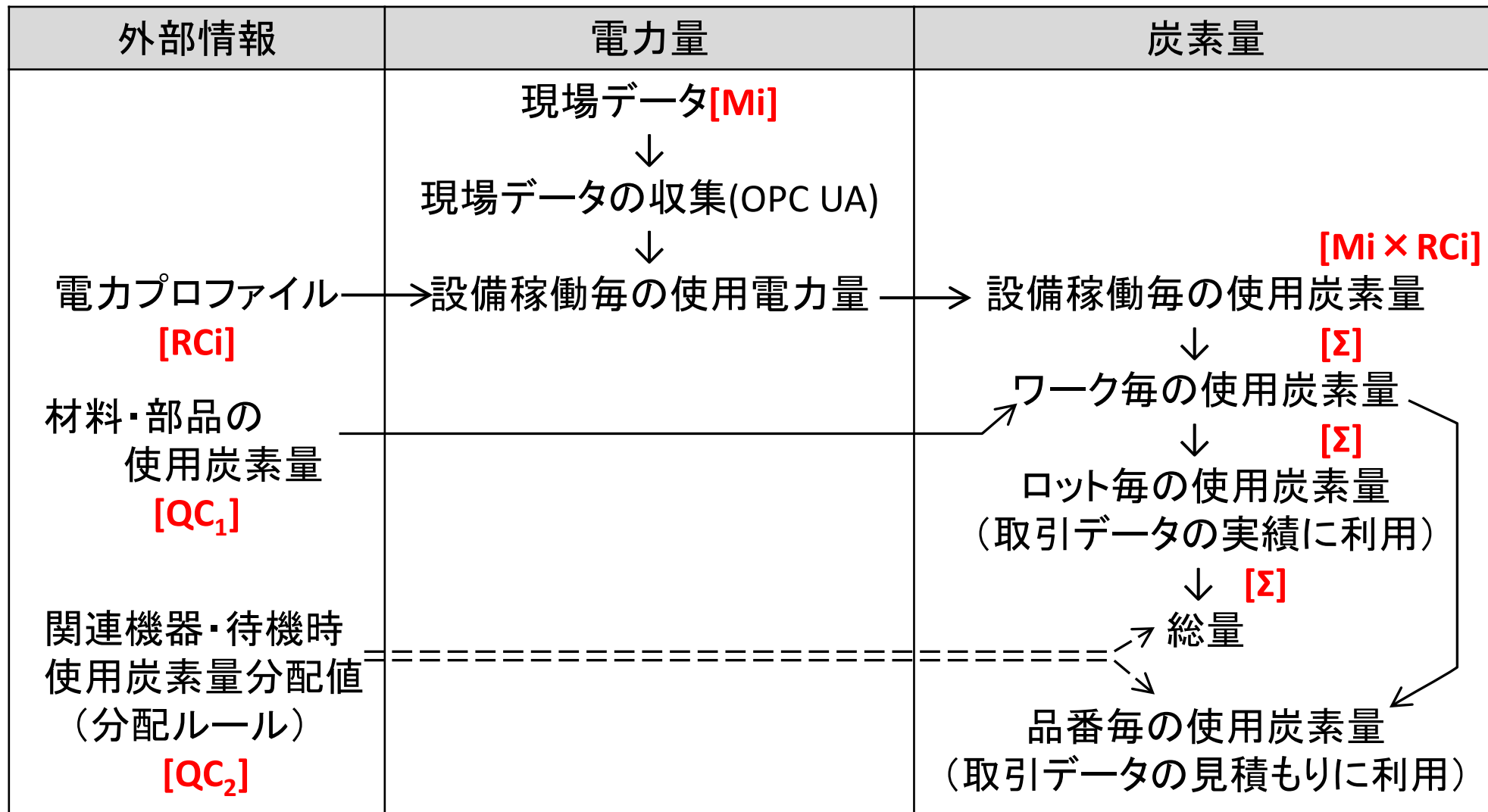
- 生産品目 **[PQ]**
- 生産手順
- 生産工程 **[Mi]**
- 設備



エッジレベルデータモデル(マネジメントシェル)



炭素使用量算出処理



データモデル(DBテーブル全体)

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

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	総炭素消費量の予測値 [Cp]	総炭素消費量の実績値 [Ca]	
2	c	単位炭素消費量の予測値 [cp]	単位炭素消費量の実測値 [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)	ワーク消費炭素量テーブルで示される生産内容の重量の総和(ton)。数量はワーク消費炭素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] → ワーク消費炭素量テーブル: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炭素変換係数。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消費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消費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

KEIモデルによるKPI算出例

KPIとして予実管理を対象とした「直接正味二酸化炭素消費効率」を採用
ワーク単位のKPIの算出例を以下に記す

◆ $DNCE = (PDCI \times GQ / ADCC) \times 100$

□ PDCI: ユニット単位の二酸化炭素消費量の計画値cpにあたる

→ $cp = (\sum Mpi \times RCpi + QCp) / PQ$

Mpi: 製造に使用する工程の「生産工程」テーブル「消費電力」項(計画値)

RCpi: 製造の際に利用する電力の二酸化炭素炭素変換係数

QCp: 環境との二酸化炭素量交換 (今回の実証では0と仮定している)

PQ: 製造対象の重量 (計画値として全て良品とするとキャンセルされる)

□ GQ: KPI算出対象としたワークの重量

→ 「生產品目」テーブルの「重量」項にあたる(PSLXをCF対応に拡張)

□ ADCC: ワークを製造する際の実測値Caにあたる

→ $Ca = \sum Mai \times RCai + QCa$: 「ワーク消費炭素量」テーブルの「CF値」項にあたる

◆ 整理後の式

$$DNCE = \frac{\sum \left(\begin{array}{l} \text{製造に使用する工程の「生産工程」テーブル「消費電力」項} \\ \times \text{製造の際に利用する予定の電力の二酸化炭素炭素変換係数} \end{array} \right)}{\text{「ワーク消費炭素量」テーブルの「CF値」項}}$$

◆ 現状のまとめ

- OPC UAサーバを用い、現場データからCFP計測を行うシステムを構築。
- GAIA-Xと連携することにより、欧州企業とのDXの可能性を提示。
- KEIモデルによるKPI評価システムの実装案を提示。

◆ 今後の展開

- 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
 - ・ 生産設備から排出されるCO2の削減のためのツール提言
 - ・ 機能開発; KPIへの対応、分配への対応、シミュレーション環境への機能拡充
- 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
 - ・ 機能開発: 工場全体、一次/二次データの混在、コストや生産能力等の隠ぺい
- KPIに関するデータモデル提案
 - ・ OPC UAコンパニオン仕様への提案

◆ OPC日本支部への期待

- 日本の産業の状況の世界への発信の支援(CN、KPI、他)
- 国内の様々なコンソーシアムとの連携支援

ご清聴ありがとうございました