

NF サロン

エネルギーマネジメントシステム マネジメントのシステム化について

日時 : 2024年12月5日 (木) 17:00~18:00
場所 : 早稲田大学 西早稲田キャンパス 55Sカンファレンスルーム

Prof. Yoshiharu AMANO

天野 嘉春

yoshiha@waseda.jp

Department of Applied Mechanics and Aerospace Engineering,

理工学術院 基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科

Director, ACROSS-RIPES (動力エネルギーシステム研究所 所長), WISE-IONL (産業用オープンネットワーク・ラボラトリ 代表)

Waseda University 早稲田大学



概要

技術とは何か？

技術と社会との関わりを気にかけてつつ、エネルギーマネジメントシステムの研究の途上での個別の体験を元に、さまざまな「マネジメント」のシステム化についてあれこれと考えていることをお話ししたいと思います。

具体的には、エネルギーマネジメントに関わる国際標準化活動を進める上で、「そもそもエネルギーマネジメントの基本機能とは、何だろうか？」といった「そもそも論」との格闘経験から、制御系を自然に拡張した「マネジメント・システム」を構想した経緯をご紹介します。

時間があれば、研究はどのようにマネジメントできる・すべきなのか、（全くよくわかっていないのですが）議論できれば幸いです。

天野 嘉春

早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授



2022- アドバイザー, **JEITA** Control & Energy Management Committee-WG1

2022- **ECOS International Society Inc.**, Executive council, Secretariat

2019-2021 委員長: **JEMIMA FEMS(IEC 63376)** committee, TC65/JWG14, 17 expert

2022.9- 早稲田大学 研究推進部長

2015 - **ACORSS-RIPES** スマート社会技術融合研究機構 動力エネルギーシステム研究所所長

2008.4 - 基幹理工学部 機械科学・航空(宇宙)学科 教授

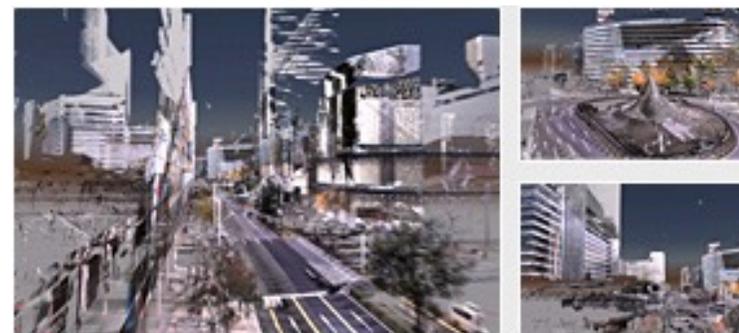
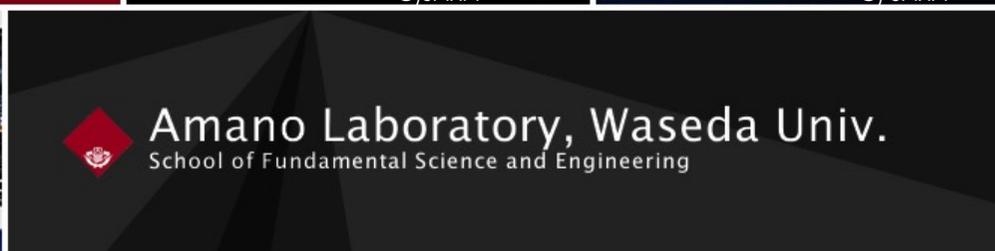
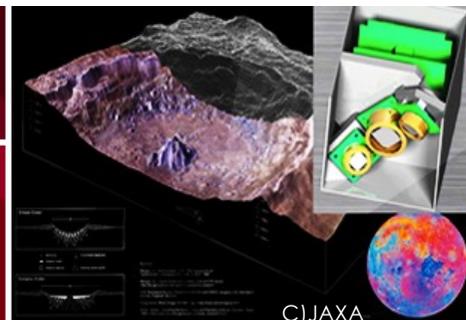
2008.3 - 2008.12 スイス連邦工科大学ローザンヌ校 EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne, Switzerland) 客員教授

2006 - **WISE-IONL** 理工総研 産業用オープンネットワーク・ラボラトリー代表

2002.4 - 2008.3 助教授 (准教授) : 早稲田大学 理工学術院

2000.4 - 2002.3 専任講師: 早稲田大学 理工学総合研究センター

- **自己紹介**
 - これまでの研究のご紹介
- **背景**
 - **エネルギー資源と利用**
 - **エネルギーマネジメントシステム**
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能
- **マネジメントシステムの基本機能**
 - **「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム**
 - 協調する仕組み
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
 - **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness
- **研究のマネジメント**
 - プロジェクト研究と研究活動
 - プロジェクトマネジメント



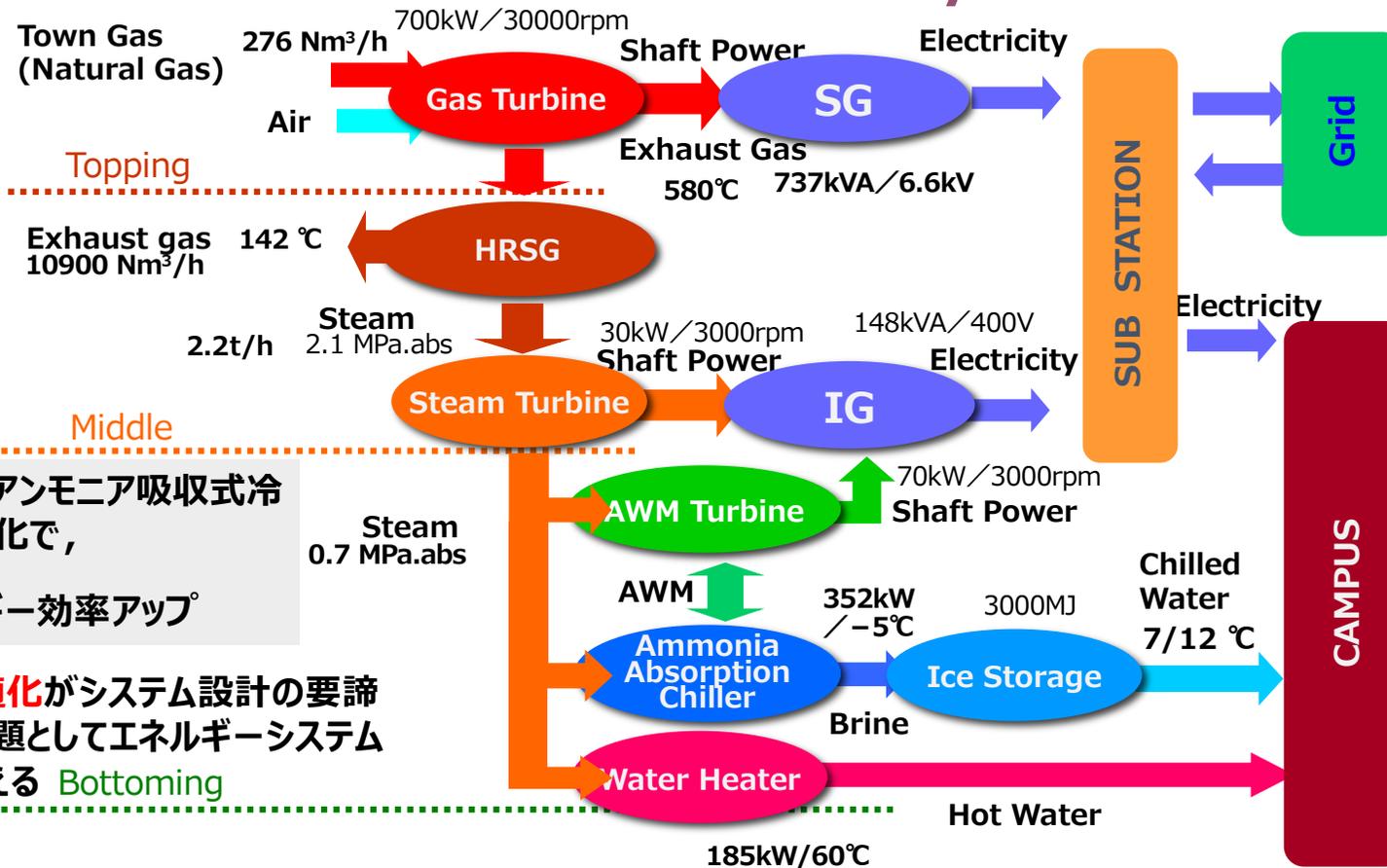
I made this!

2024/12/05



大学内に複合発電所を造りました。
設計、設営し、
10年間発電所として運用
(1997-2006)

Advanced Co-Generation System



Kalina Cycleとアンモニア吸収式冷凍サイクルの複合化で,
13%エネルギー効率アップ°

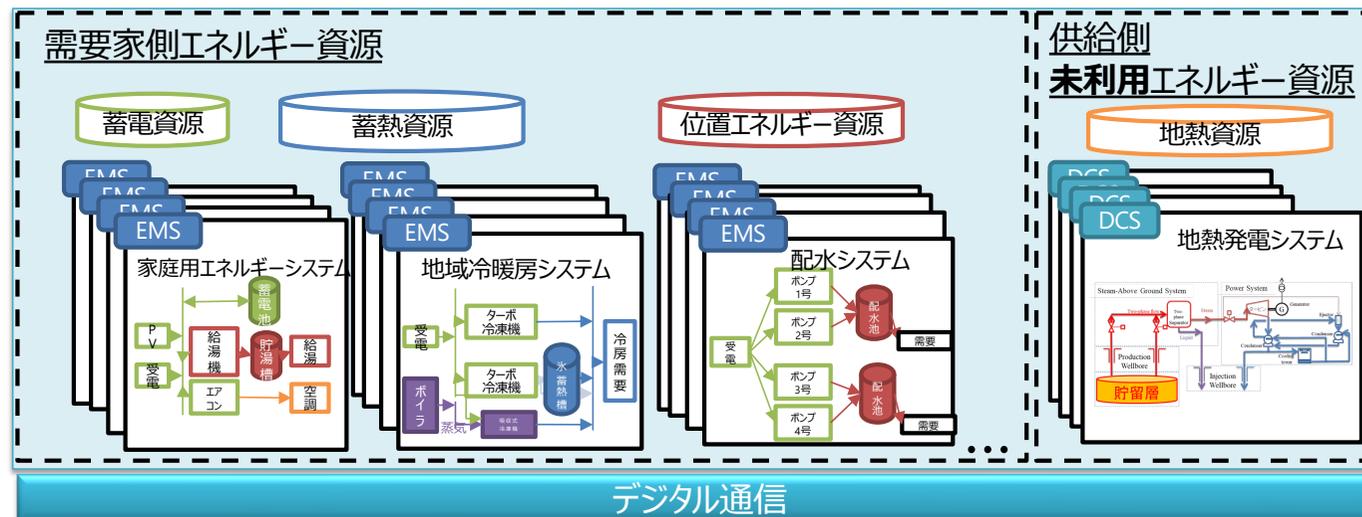
組み合わせの最適化がシステム設計の要諦
 > 数理最適化問題としてエネルギーシステムの設計問題を捉える **Bottoming**

Energy and Sensing System

- **3次元地図情報生成システム**
 - センサフュージョン技術
 - 量子計算をハードウェアで模擬するイジングマシンによるエネルギーシステムの大規模最適化問題
- AI IoTによる**地熱発電所**の管理高度化ドローンや**IoTセンサ**による設備の健全性診断
 - **AI技術**によるプロセスモデリングおよび異常予知診断
- CO₂を熱輸送媒体とする**第5世代地域エネルギーネットワークシステム**（EPFLスイス連邦工科大）
- エネルギーコミュニティの設計論（パドバ大学）
- 家庭、商用ビル・工場の**エネルギーマネジメントシステム**の研究
 - 国際標準化活動（IEC 63376）のエキスパートとして日本提案を策定
 - SIP第3期 産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの開発と実装
- エネルギーシステム研究者の国際組織化：**ECOS International Society Incorporated Executive council**
欧州（スイス、イタリア、スウェーデン、ドイツ）、北南米（アメリカ、メキシコ、ブラジルなど）

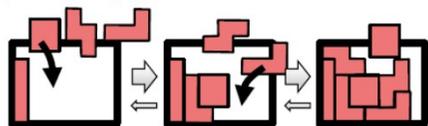
組み合わせ最適化
問題を高速に解く

デジタル通信に基づく
システムの最適運用

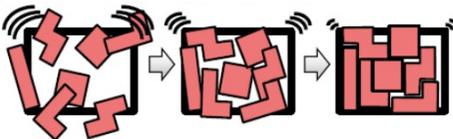


汎用ソルバー

順番に詰めていく，ダメなら後戻り
全組み合わせを確認する



アニーリング



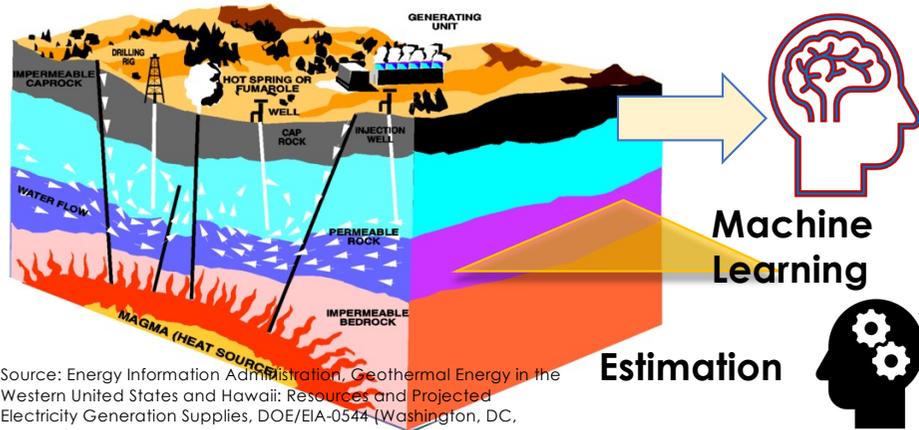
QUBO

$$\delta^* = \operatorname{argmin}_{\delta} -\frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} \mathbf{W}_{i,j} \delta_i \delta_j - \sum_i \beta_i \delta_i + \gamma$$

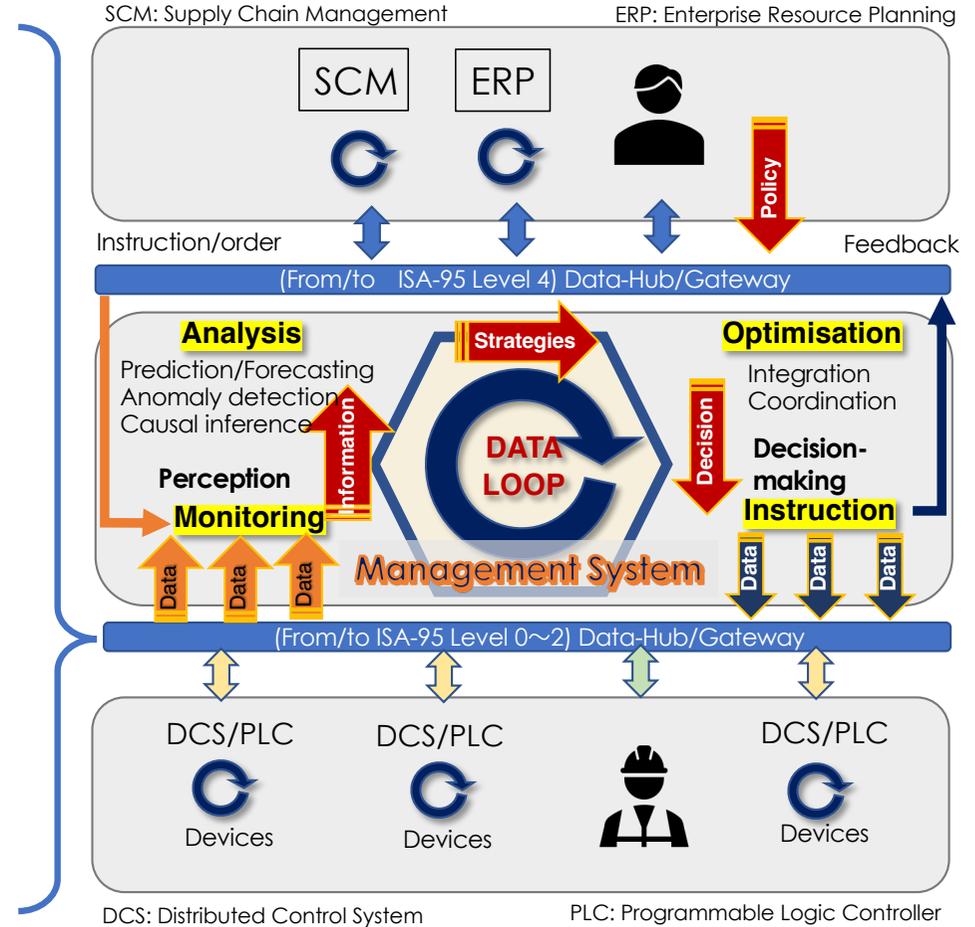
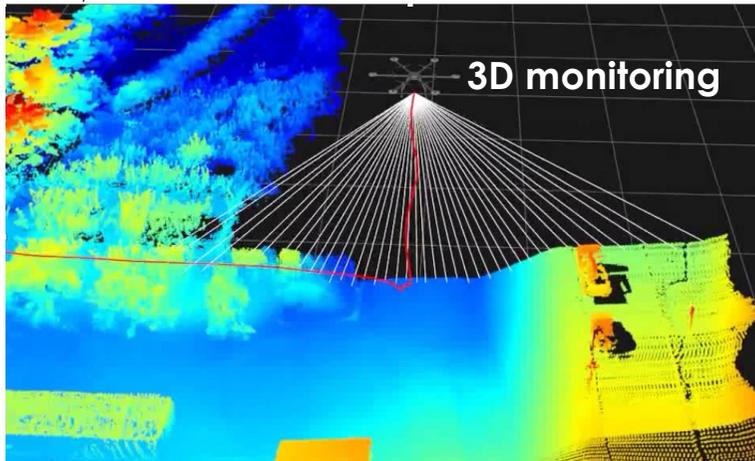
where $\mathbf{W}_{i,j} = -2(\rho_e \dot{e}_i^* \dot{e}_j^* + \rho_b)$, $\beta_i = -(\mu_i^* - 2\rho_e \dot{e}_i^* \dot{E}_{ct} + \rho_e \dot{e}_i^{*2})$ and $\gamma = \rho_e \dot{E}_{ct}^2$.

地熱発電設備利用率向上のためのAI・IoTセンサ開発

2024/12/05



Source: Energy Information Administration, Geothermal Energy in the Western United States and Hawaii: Resources and Projected Electricity Generation Supplies, DOE/EIA-0544 (Washington, DC, September 1991).



IONL: Industrial Open-Network Laboratory

2024/12/05

SINCE 2006

Fieldbus: Communication standard
Intelligent bi-directional digital communication **in the field**

• IONL

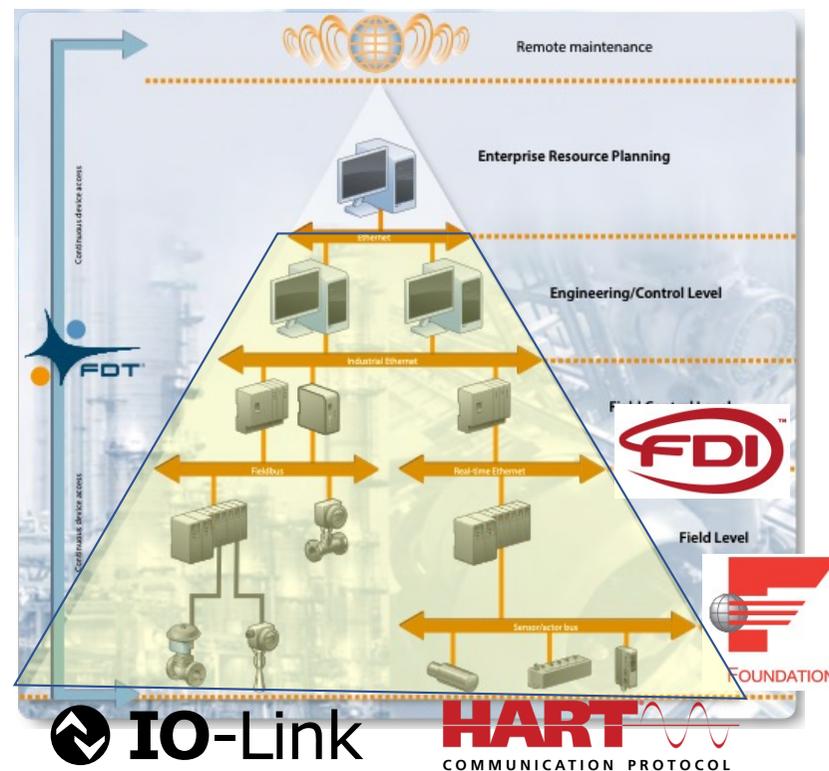
FCG section

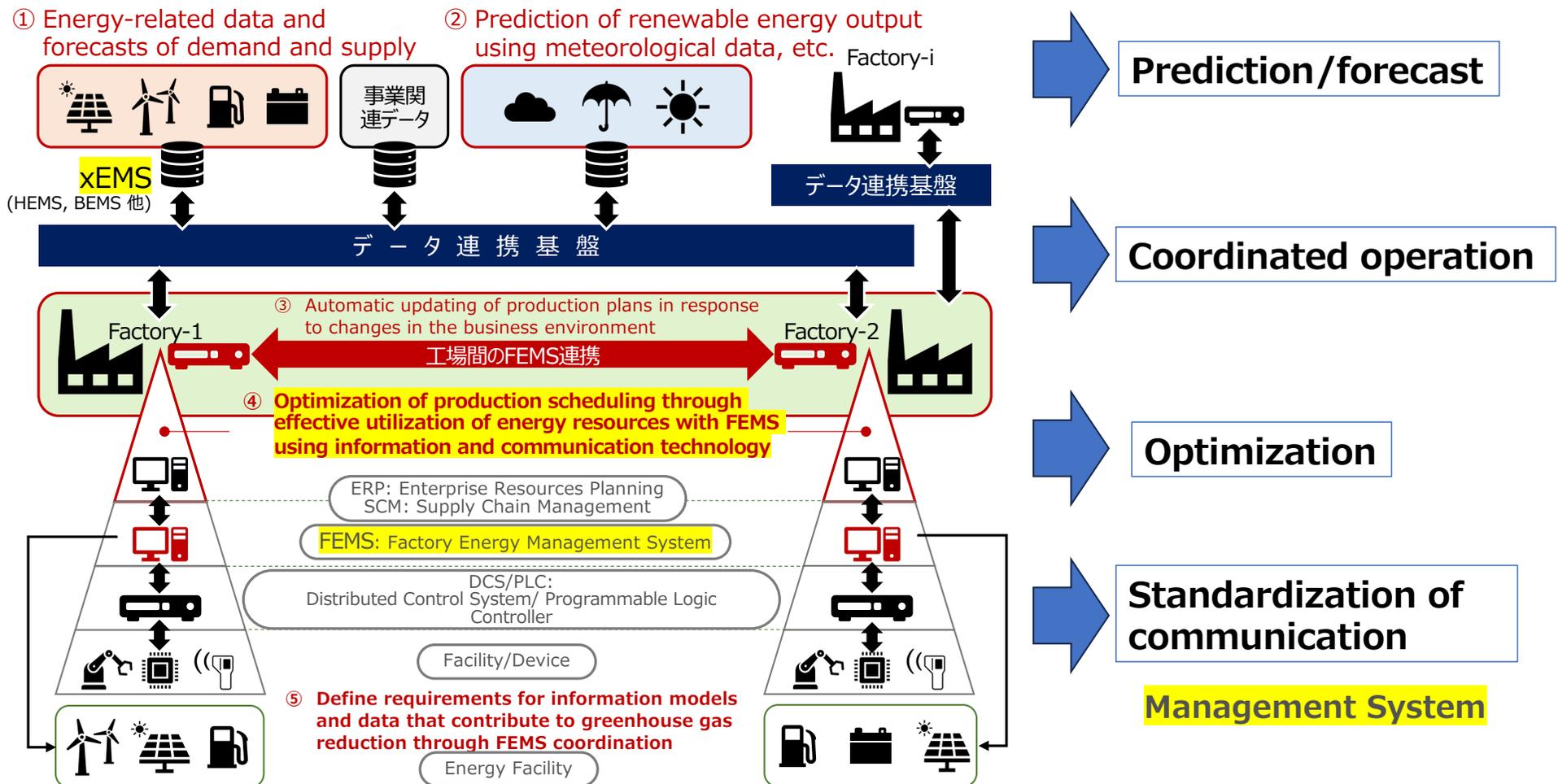


IO-Link section



FDT section





1. システム評価・設計

高精度3次元地図
センサーフュージョン

エネルギーシステムの最適運用・最適設計
最適化手法

組み合わせの妙

2. マネジメントシステムの設計

AIなどによる意思決定の自動化
データ駆動型モデリング

- **自己紹介**

- これまでの研究のご紹介

- **背景**

- エネルギー資源と利用
- エネルギーマネジメントシステム
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能

- **マネジメントシステムの基本機能**

- 「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム
 - 協調する仕組み
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
- **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness

- **研究のマネジメント**

- プロジェクト研究と研究活動
- プロジェクトマネジメント

- R. Buckminster Fuller (1940) は“Energy slaves”という概念を導入

人間の労働力に対応するエネルギーを, 1 energy slave とした.

一人分の食料のもつエネルギー ~ 一人の労働のエネルギー と捉えて計算しよう ;

$$2800 \text{ [kcal/day]} * 365 \text{ [days/year]}$$

$$= 1,022,000 \text{ [kcal/year]}$$

$$\sim 136 \text{ [W]}$$

人は平均136 [W] で発熱する生物

食料エネルギーから換算した年間労働価値 (エネルギー) は

およそ100万キロカロリーに相当する.

$$1 \text{ energy slave} \\ \sim 136 \text{ [W]}$$

- 原油の単位体積あたりのエネルギー量は、密度によって変化するが、BP standard (2007) によると、約10 milion [kcal/t]

1トンの原油は 1年間のEnergy Slaveの10倍のエネルギー

- 1 [t]の原油は 7.33 [bbl]
- 原油価格を 70 [US \$ /bbl] と仮定すると、1 energy slave相当の原油量0.7[bbl]の価格は約**50 [US\$] ~ 6500~7500円** (130~150 Yen/US\$)となる。

食費 2000円/日*30日 = 60,000円/月 →720,000円/年
食費は等価エネルギーを持つ原油価格の100倍

- 統計から、日本人，一人あたりの年間エネルギー資源消費量は，

40 energy slave 相当

日本人は，食料に相当するエネルギー量の**40倍**程度のエネルギー資源を利用することができる **社会システム** を構築している！

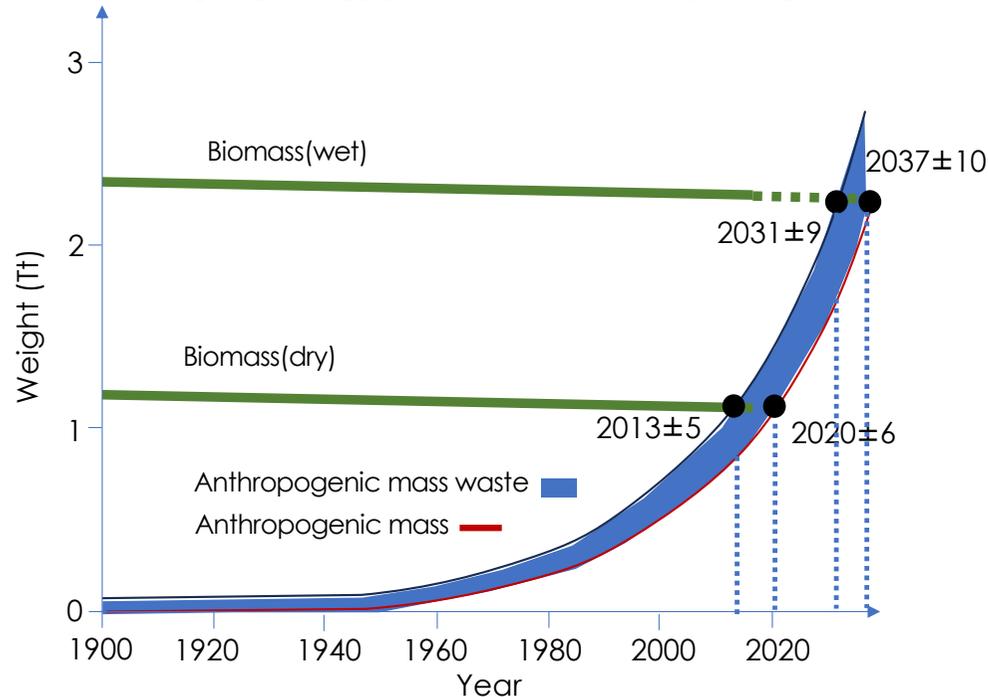
1 energy slave = 1年分の食料に相当するエネルギー量
R. Buckminster Fuller (1940)

人類の生産活動が他の全生物の生産活動を超えた

2024/12/05

人類の「生産量」は、他の生物(1.1 Tt(dry))を2020±6年に超えた

エネルギーだけではなく、物質のフローもマネジメントすべし



From "Fig. 2: Biomass (dry and wet), anthropogenic mass and anthropogenic mass waste estimates since the beginning of the twentieth century"[1].

Source: "Global Human-Made Mass Exceeds All Living Biomass," by Emily Elhacham et al., in *Nature*. Published online December 9, 2020



Animal
4 Gt



Plastics
8 Gt

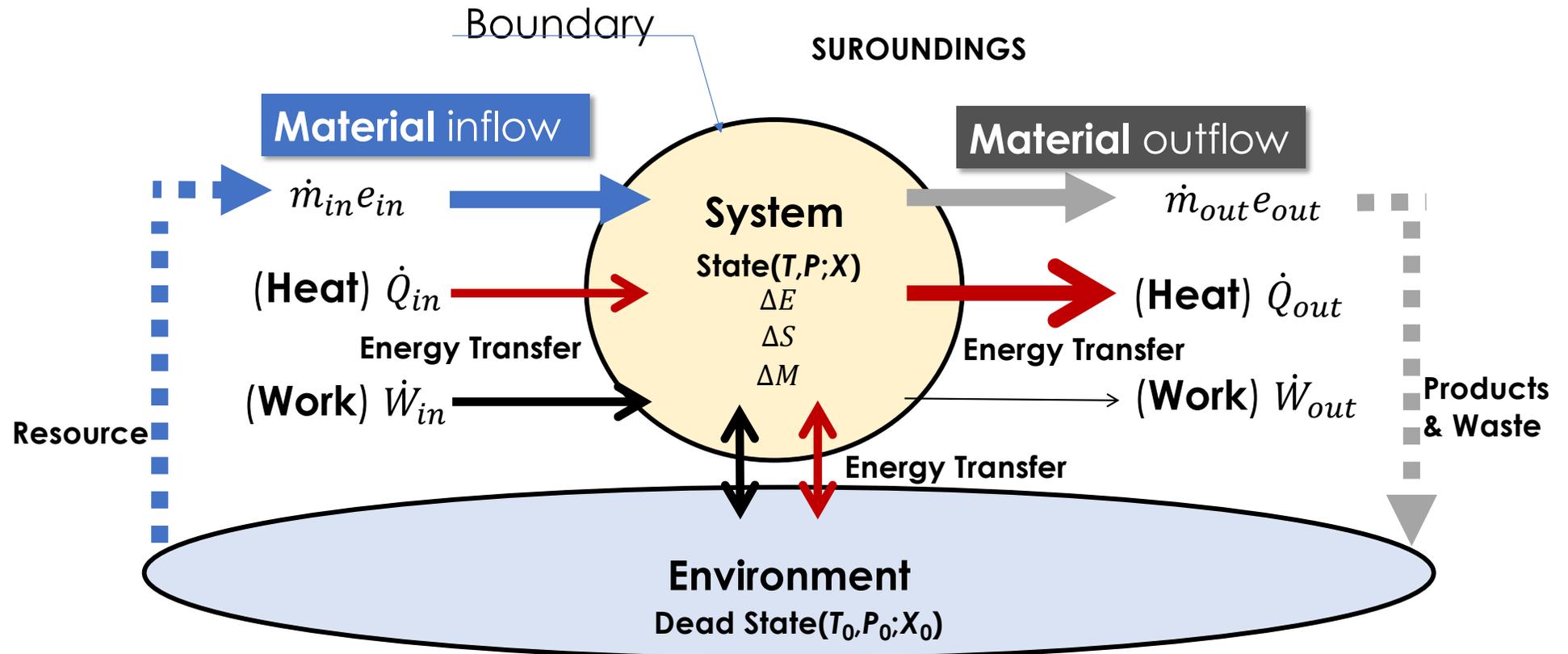


Trees and shrubs
900 Gt



Buildings and infrastructure
1,100 Gt

地球という「環境」は有限であり、マネジメントの対象である



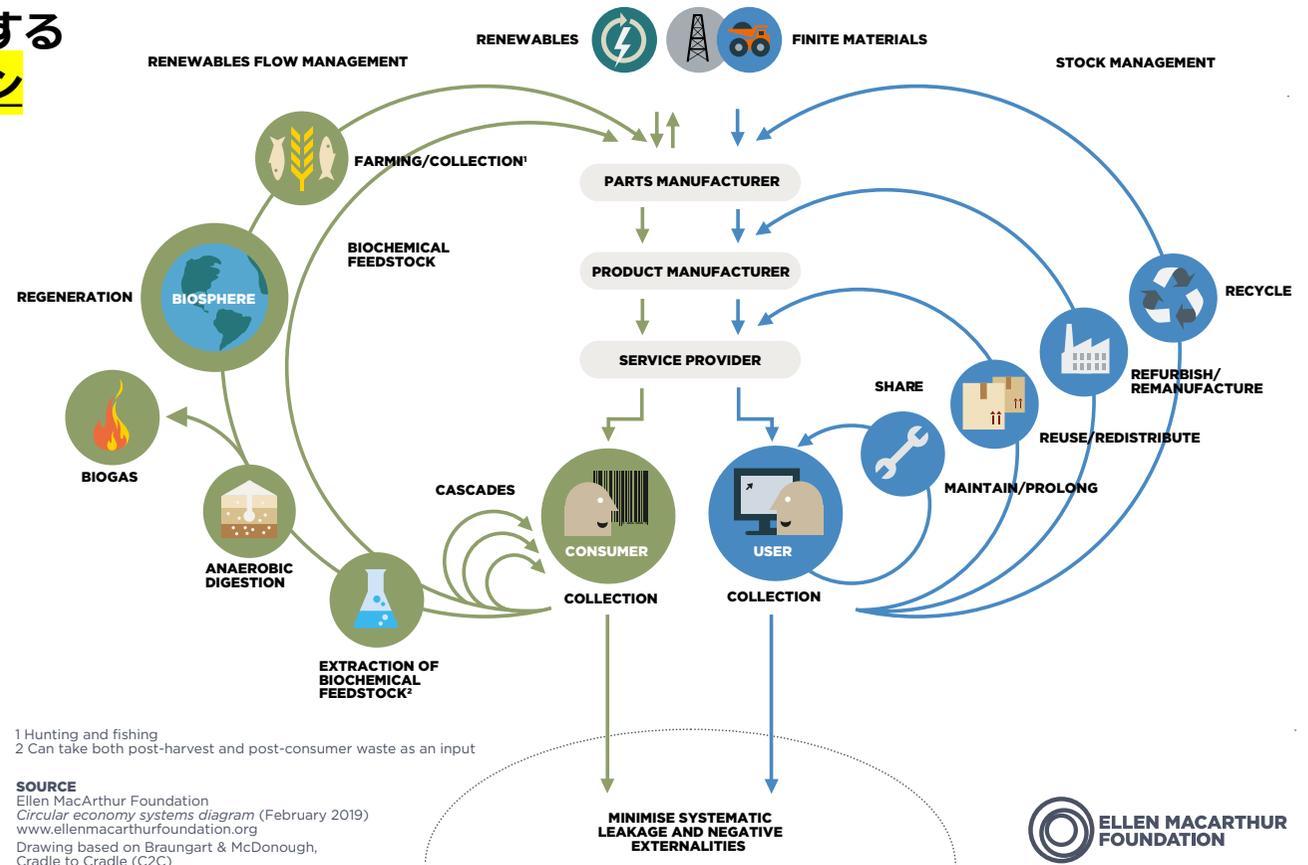
社会全体の協調した活動を可能にする 相互作用関係・コミュニケーション



- データ定義・情報モデルの標準化
- データ連携基盤の整備

モノとエネルギーの流れ
を捉えるために
= データとして流通させる

賢く、判断する
= 協調した活動を促す



<https://emf.thirdlight.com/link/7kvazph93afk-owveai/@/preview/1?o>

持続可能性：資源利用の高度化

エネルギー資源を含めた物質循環のマネジメントが必要

Artefact

Nature

製造する人工物質量が、生物量を超えた（2020±6）



資源の枯渇、環境の変化



化石燃料資源に依存した、使い捨て社会からの脱却が必要



新しい社会システム（= 実体と情報）への変革

- **自己紹介**
 - これまでの研究のご紹介
- **背景**
 - エネルギー資源と利用
 - **エネルギーマネジメントシステム**
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能
- **マネジメントシステムの基本機能**
 - 「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム
 - 協調する仕組み
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
 - **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness
- **研究のマネジメント**
 - プロジェクト研究と研究活動
 - プロジェクトマネジメント

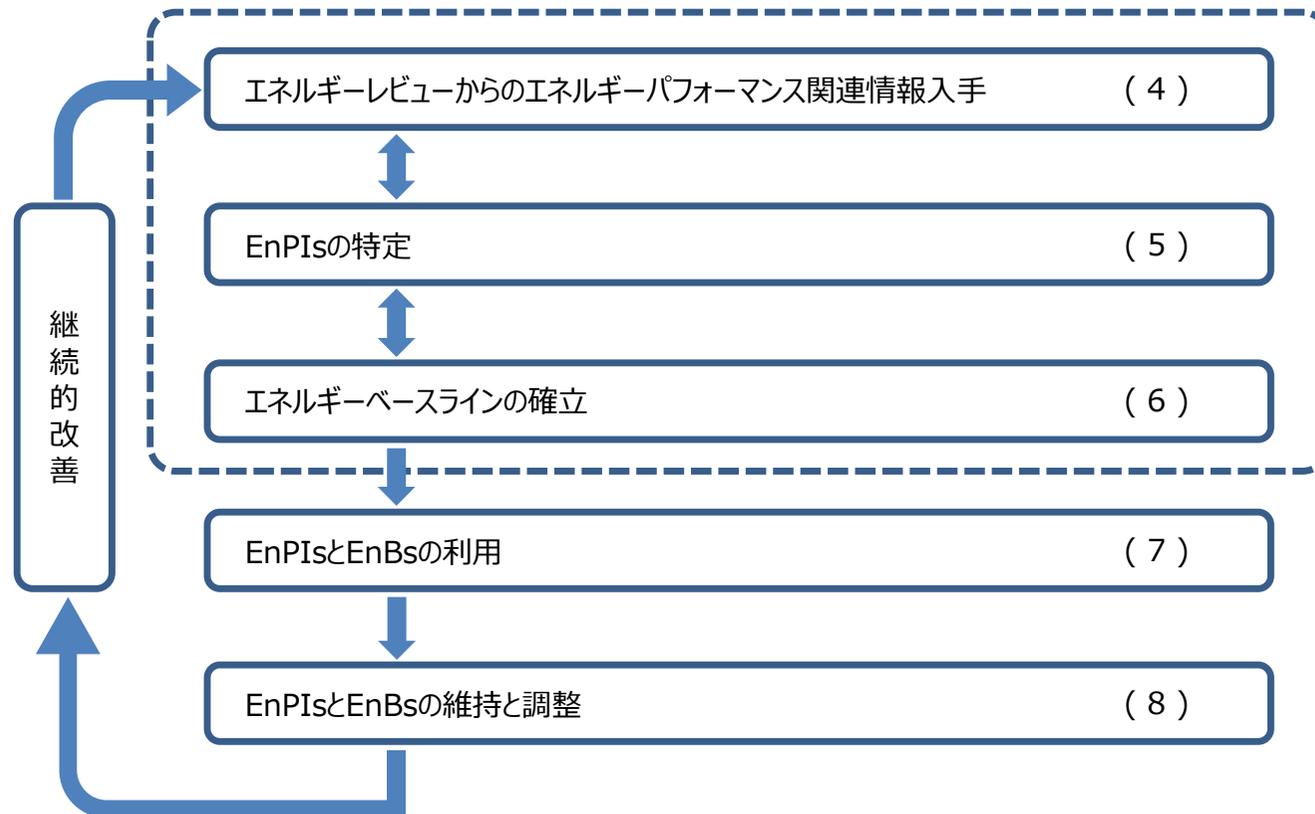


図 2 エネルギーパフォーマンス計測の概要

出典 : JEITA/EMSC/TR 0004(J) エネルギーマネジメント標準化専門委員会

- ISO 50001 では**エネルギーパフォーマンス**という概念が導入された
 - この概念は、エネルギーの使用における、「**測定できる性能**」を表すもの
 - エネルギー使用量やエネルギー効率、目的別エネルギー使用量など、エネルギーに関連する広い概念
- このエネルギーパフォーマンスの向上が ISO 50001 の最大の目的のひとつであり、「その変化」の計測が重要
 - エネルギーパフォーマンスは、向上する場合だけでなく、悪化する場合もあるため、「変化」という言葉が使われており、その変化を調べる際の基準のことを**エネルギーベースライン**と呼ぶ
- ISO 50006 は、**エネルギーパフォーマンスの指標（EnPIs）とエネルギーベースライン（EnBs）**を用いてエネルギーマネジメントをするための基本的な手法（設定／利用／維持）を記述している

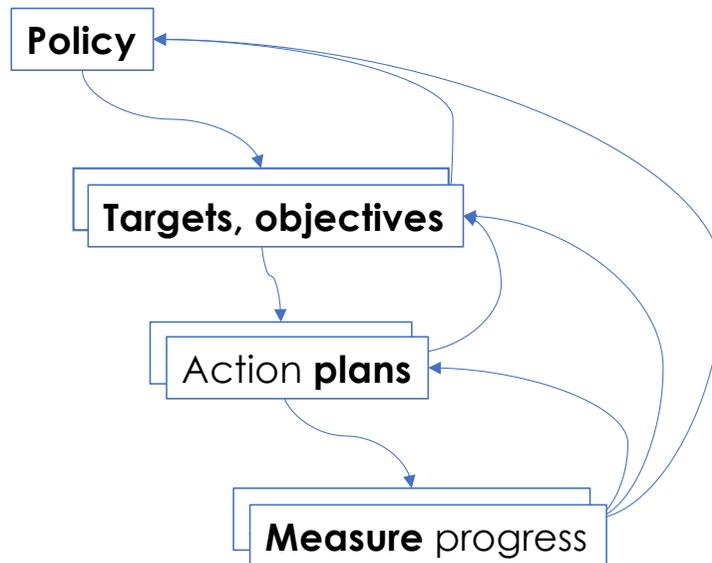
出典：JEITA/EMSC/TR 0004(J) エネルギーマネジメント標準化専門委員会

2024 copyright AMANO LAB: Energy and Systems Engineering for Smart Society

• management system

set of interrelated or interacting elements of an organization to establish **policies** and **objectives** and **processes** to achieve those objectives

From ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use



What is an **energy** management system ?

An energy management system helps organizations better manage their energy use, thus improving productivity. It involves developing and implementing an energy policy, setting achievable targets for energy use, and designing action plans to reach them and measure progress. This might include implementing new energy-efficient technologies, reducing energy waste or improving current processes to cut energy costs.

ISO 50001 gives organizations a recognized framework for developing an effective energy management system. Like other ISO management system standards, it follows the “Plan-Do-Check-Act” process for continual improvement.



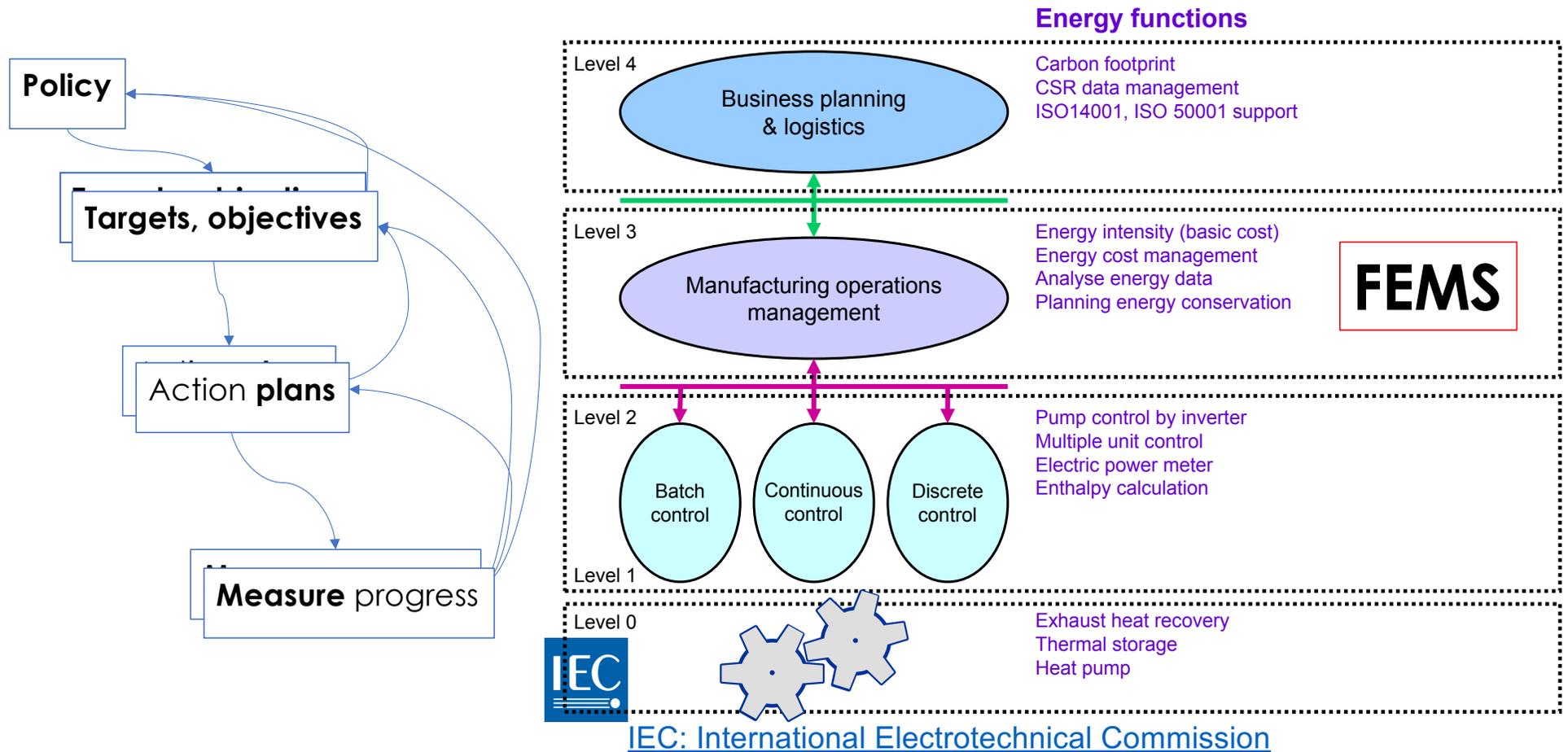
<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100400.pdf>

2024 copyright AMANO LAB: Energy and Systems Engineering for Smart Society

IEC 62264-1: Enterprise-control system integration

2024/12/05

Enterprise-control system integration (reference to IEC 62264-1)



- **energy management system**

control system designed to **monitor** the environment and the **use of energy** in a facility and to **adjust the parameters** of local control loops to conserve energy while maintaining a suitable environment

From ISO 16818:2008(en)

- **energy management**

process for **monitoring, analysis, reporting** and **improvement** of energy efficiency

From ISO/IEC TS 22237-7:2018(en)

- Title :

Industrial Facility Energy Management System(FEMS) – Functions and Information Flows

Scope :

- Define functions of Industrial FEMS
- A generic method to classify the FEMS functions which include from visualization system to systems optimizing facilities' energy supply and demand will be explained.
- The information exchange between the FEMS and other systems will be outlined.

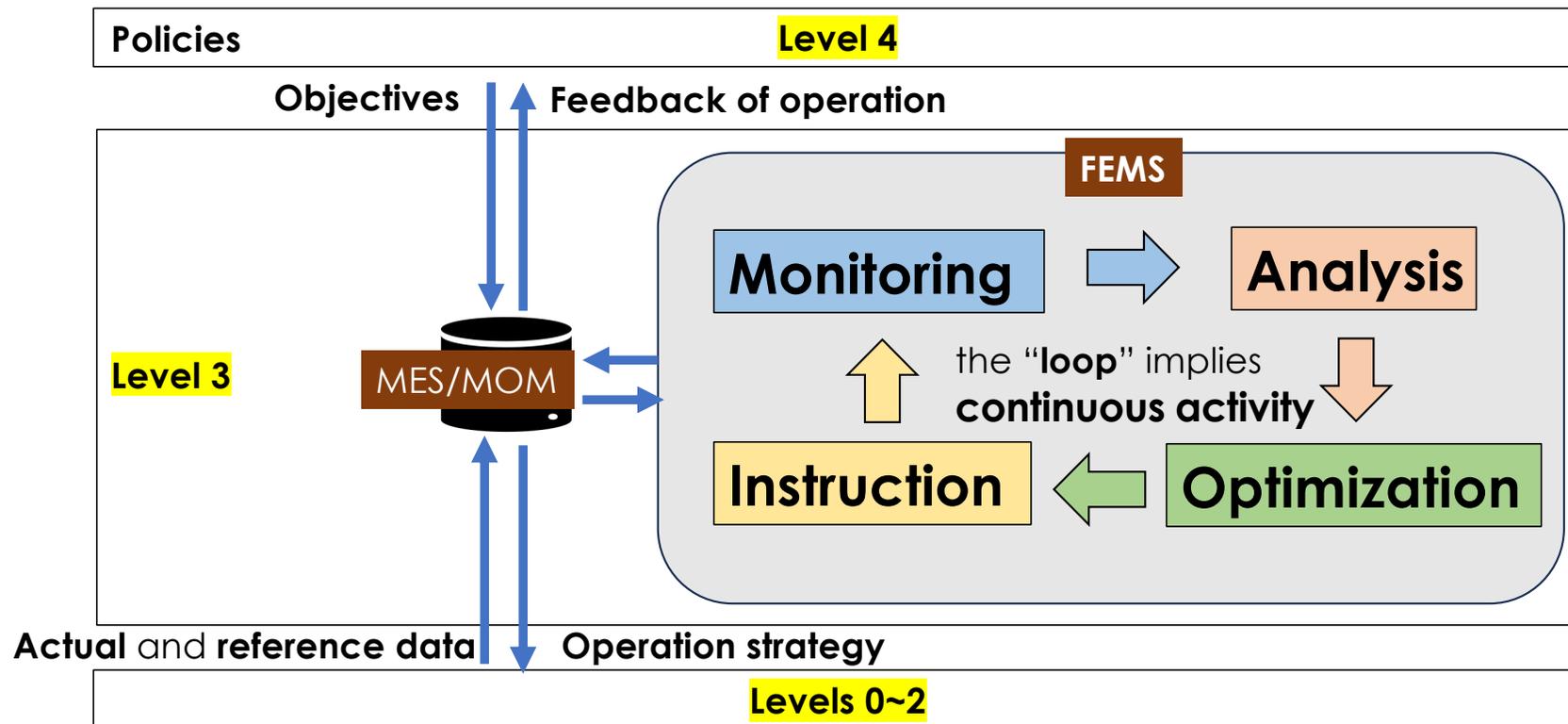
Project team :

- Project Leader : Tomoyuki Ikeyama (Yokogawa Electric Corp.)
- Editor : Yutaka Wakasa (Japan) , Ian Verhappen (Canada)
- National committee : JEITA control energy management technical committee WG1, FEMS-TF
Chair Prof. Yoshiharu Amano (Waseda Univ.)

Fundamental functions for EMS

2024/12/05

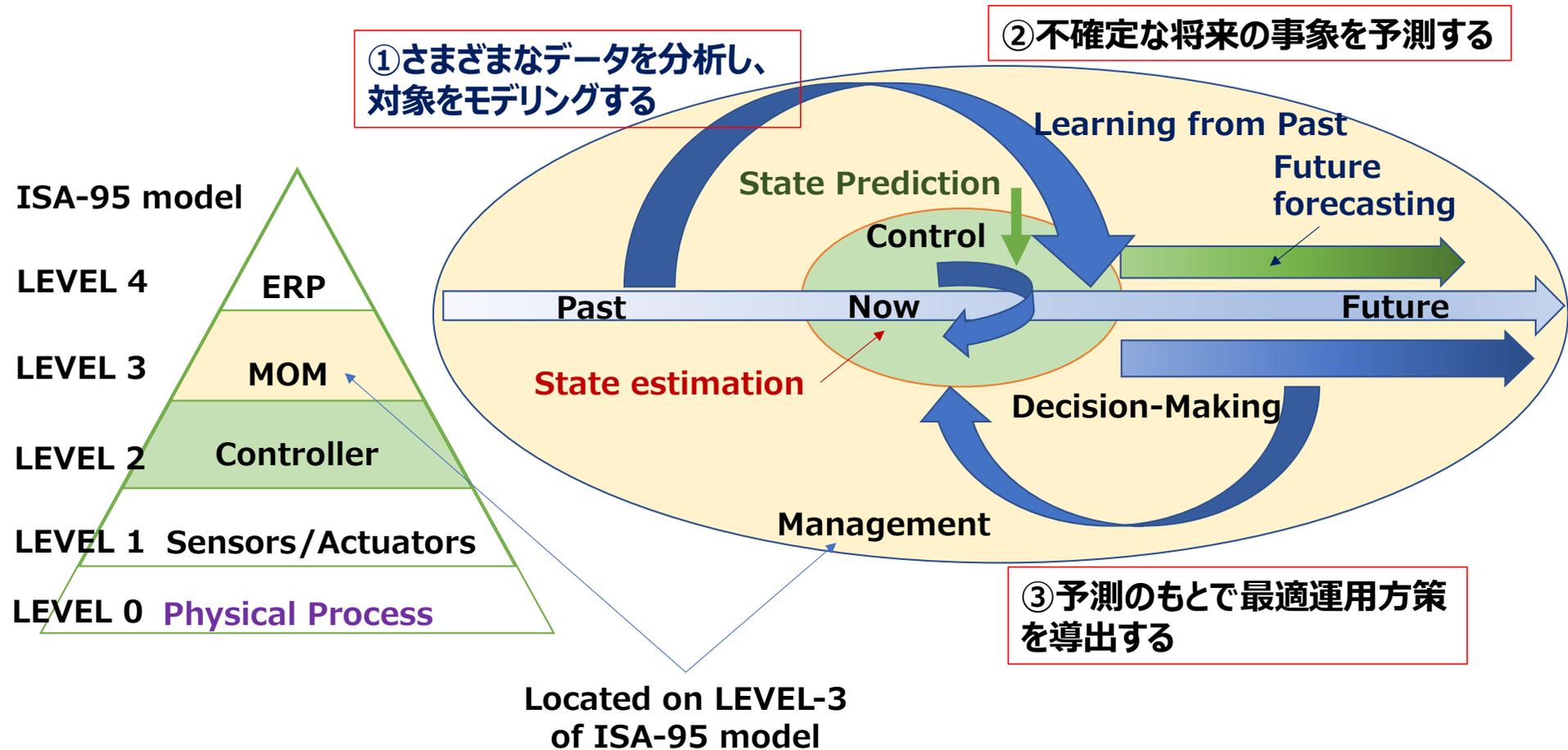
- Extended Idea from **IEC 63376:2023 FEMS**



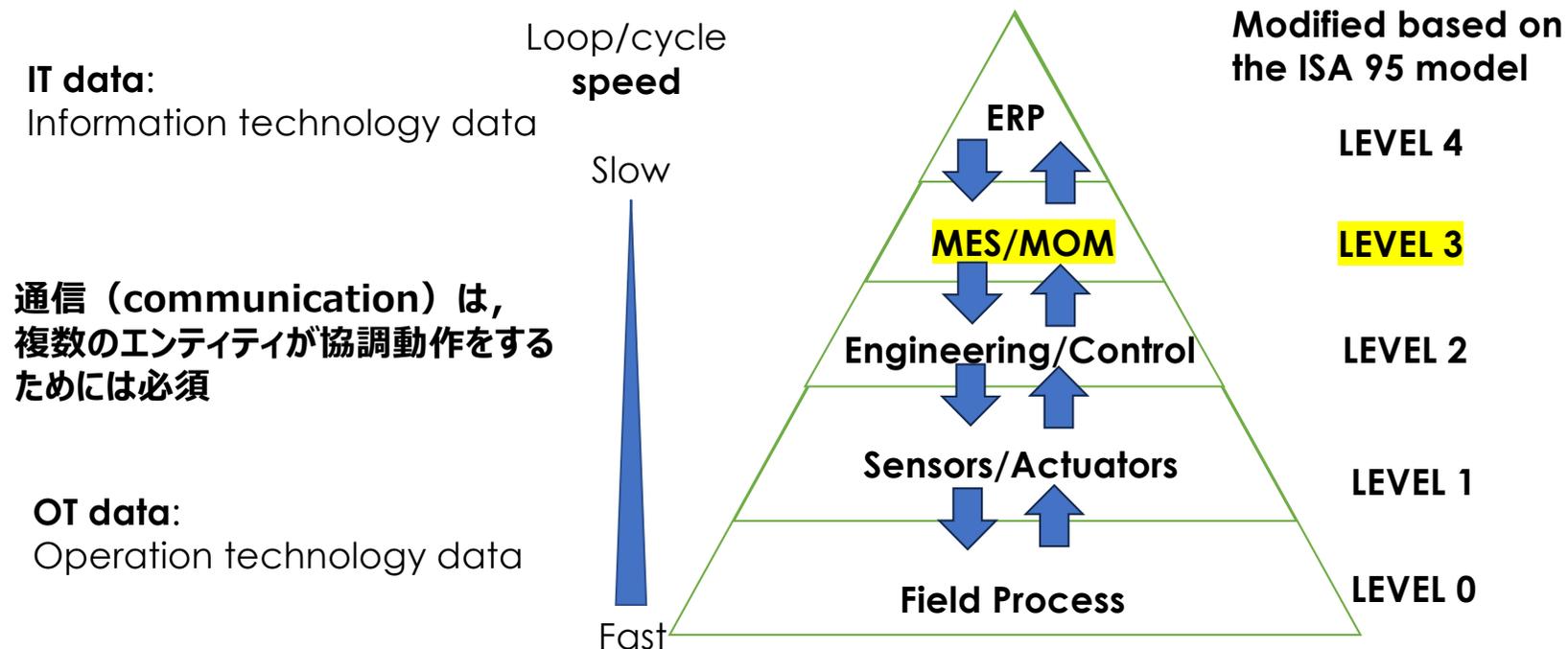
MOM: Manufacturing Operations Management

MES: Manufacturing Execution System, **PIMS:** Plant Information Management System

2024 copyright AMANO LAB: Energy and Systems Engineering for Smart Society



Intelligent **device** and smart **system**



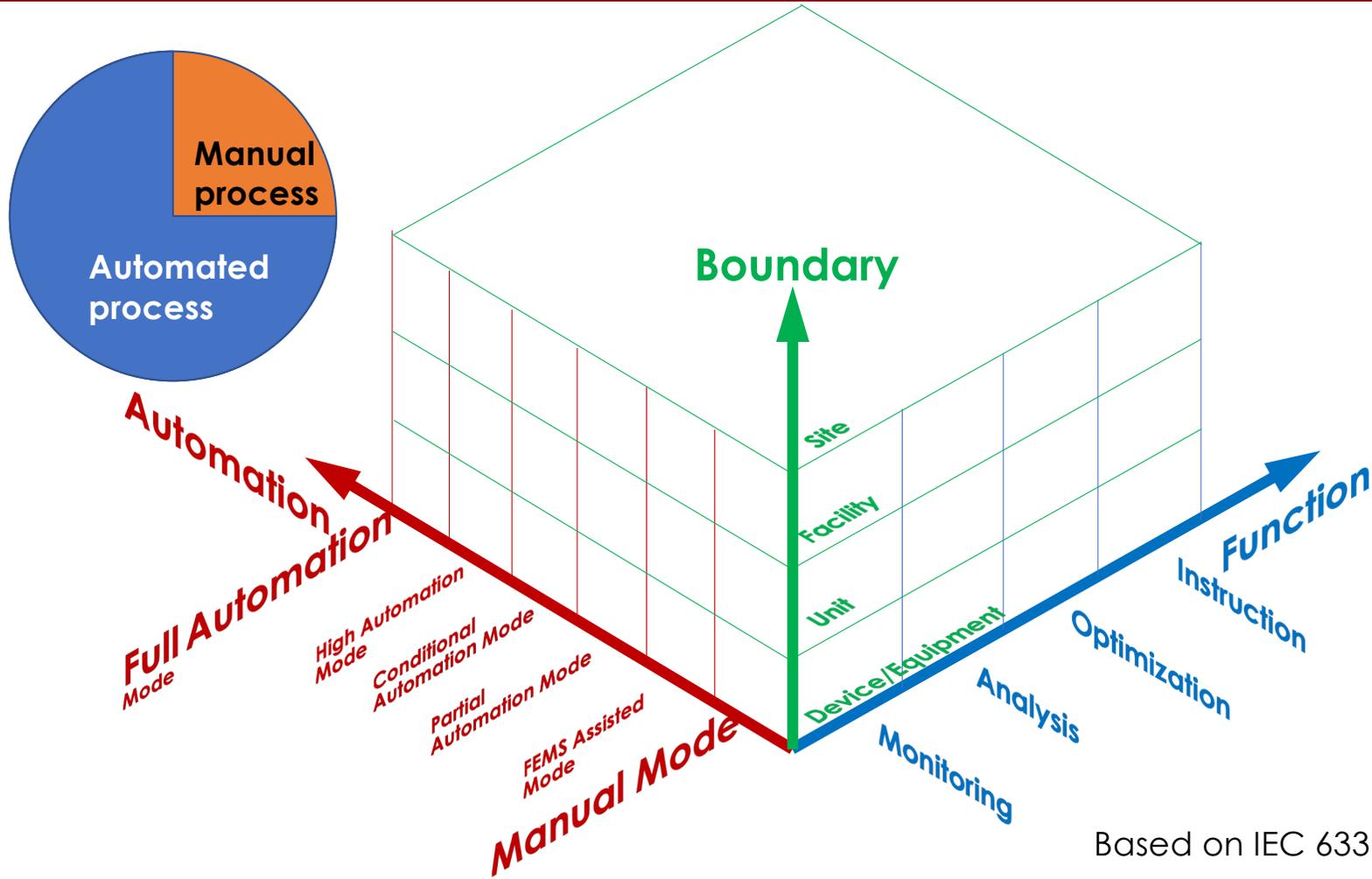
ERP: Enterprise Resource Planning

MOM: Manufacturing Operations Management

MES: Manufacturing Execution System

Automation level in FEMS

2024/12/05



Based on IEC 63376: 2023

- 自己紹介
 - これまでの研究のご紹介
- 背景
 - エネルギー資源と利用
 - エネルギーマネジメントシステム
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能
- **マネジメントシステムの基本機能**
 - **「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム**
 - 基本構造
 - 協調する仕組み：全体最適を目指すScopeの拡張
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
 - **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness
- 研究のマネジメント
 - プロジェクト研究と研究活動
 - プロジェクトマネジメント

- **Monitoring** : 世界の状態・振る舞いを把握し、記述する
- **Analysis** : 状態の変化を検知して世界モデルを修正し、因果推定する
- **Optimization** : 具体的なシナリオを生成する

目的関数を共有したいが、一部の目的関数項しかわからない。

制約条件のスコープを拡張する

神様を登場させる ; アグリゲータ

- **Instruction** : 結果を他者へ提示し、次の活動を指示する

基本構造

組織的に何かを解決する仕組み：どんな機能**構造**が必要か？

Feedback loop



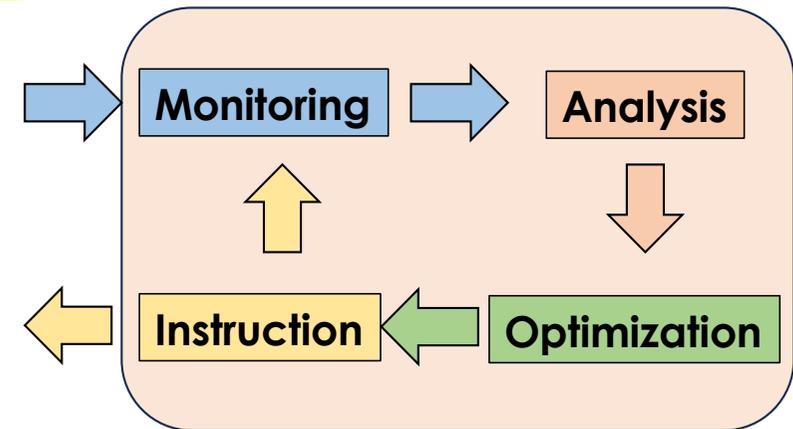
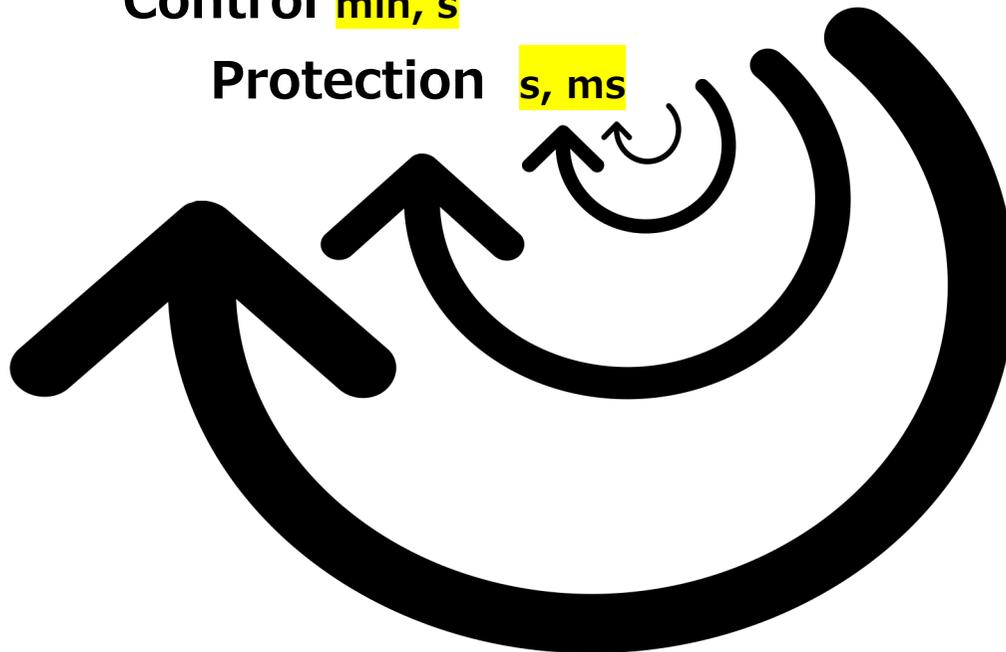
基本構造の時間スケール

Policy-making **Month, Week, day**

Operation, Management **day, hour, min**

Control **min, s**

Protection **s, ms**



長期

長期計画問題としての**システム設計の最適化**

How to **design** a (large) energy system?



System optimization for design

不確かな未来に、どう対処すれば良いのか？

不確かな未来を、決めてしまう！

Vision・理想を掲げ、共有せよ！

短期

近い将来の予測を基にした**運用計画の最適化**

How to **operate** a (complicated) energy system?



System optimization for operation

単独の高性能化ではなく、**協調による全体最適化**

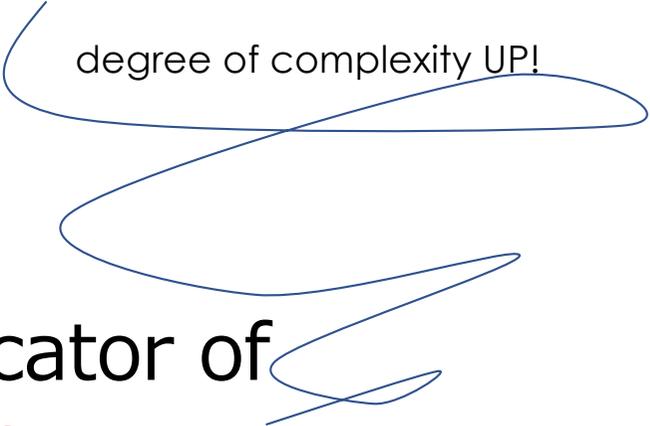
エネルギーやGHGの状態を、逐次データで共有せよ

- **自己紹介**
 - これまでの研究のご紹介
- **背景**
 - エネルギー資源と利用
 - エネルギーマネジメントシステム
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能
- **マネジメントシステムの基本機能**
 - 「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム
 - 基本構造
 - 協調する仕組み：全体最適を目指すScopeの拡張
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
 - **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness
- **研究のマネジメント**
 - プロジェクト研究と研究活動
 - プロジェクトマネジメント

Evaluate your system from the perspective of
Evolution of Technology.

- 進化の相のもとに技術を観よう

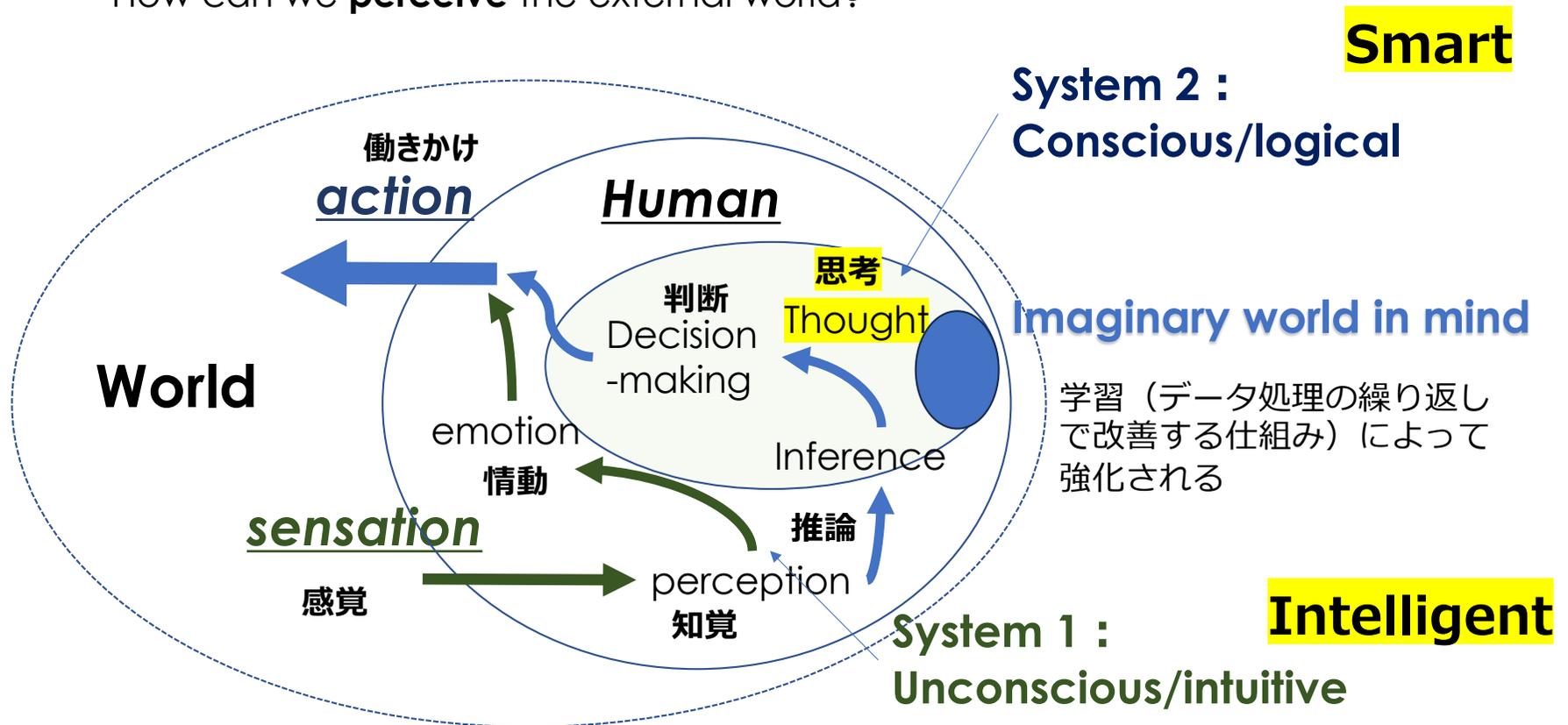
degree of complexity UP!



Automation level is the key indicator of
the **Evolution** of the **Technology.**

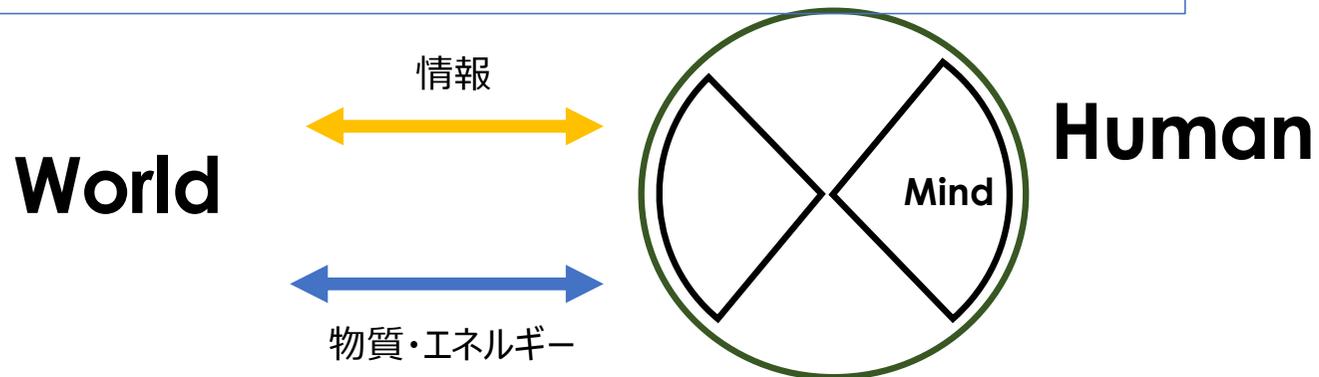
- 自動化レベルは技術の進化の指標

- activity **inside** and **outside**
 - How can we **perceive** the external world?



- **技術**とは、ある**機能**を人工システムとして**外部化**するための知的体系である。
- 機能を外部化するためには、その振る舞いを他の人がアクセスできる場所に**記述する**ことが必要である。
- 「世界」の**一部分**しか**外部化**できず、そこだけが拡張されるので、技術は本質的に「世界」に比べて歪んでいる

ヒト (生物) は外界 (環境) をセンシングし、認知する機構を持つ
認知した情報を操作して、判断する機構が解明されれば
センシングー認知ー判断系の設計に大いに参考になるだろう



- ヒトから、様々な機能を外部化してしまったら、何が残るのか？
- マネジメントの大部分は、ヒトとヒトの間（組織～社会）
ヒトとヒトの協調がうまく出来るためにどうすればよいのかを、扱っている
人工システムがヒトと上手く協調し、ヒトの能力を拡張するための設計要件は？



Engineering is a knowledge system that **evolves** technology

工学は、技術を**進化**させるための知的体系である

進化は**複雑化**へ向かう組み合わせ**最適化**問題

単一の要素技術に固執しすぎず、**スコープ**を少し**広げ**、
多様な組み合わせによる**最適化**を目指す

- **自己紹介**
 - これまでの研究のご紹介
- **背景**
 - **エネルギー資源と利用**
 - **エネルギーマネジメントシステム**
 - ISO 50001シリーズ
 - Industrial Facility Energy Management System
 - IEC 62264-1: Enterprise-control system integration
 - IEC 63376 FEMSの基本機能
- **マネジメントシステムの基本機能**
 - **「目的を達成する仕組み」としてのマネジメントシステム**
 - 基本構造
 - 協調する仕組み：全体最適を目指すScopeの拡張
 - CommunicationによるObjectiveとCommon Sense(判断指針)の共有
 - **技術進化と自動化レベル**
 - 生物：情報処理機能
 - IntelligenceとSmartness
- **研究のマネジメント**
 - プロジェクト研究と研究活動
 - プロジェクトマネジメント

- マネジメント ; 組織的な活動のための方法論
 - 組織的な研究活動 VS 個人的な研究活動
 - 研究成果をあげるためには、どうすれば良いのか？
 - 研究者として
 - 研究室主宰者として
 - 研究組織のマネジャーとして
 - もっと大きな視点から

研究活動？

研究は個人の活動？
組織的な活動？

個人の活動は、個人で好きなようにマネージ（目標を立てて、時に反省し、改善する）してください

**組織的な活動は、
組織：構造を創り、
マネジメントの仕組みを組み込もう**

研究の評価軸は？

**新規性、独創性、革新性
社会的インパクト**

研究とはどんな活動か？

科学：外界を理解するための知識の体系化

数学・情報学：外界の振る舞い記述するための形式言語の体系化

社会科学：外界のうち、特に社会を理解するための知識の体系化

...

工学：機能を社会実装するための知識の体系化

芸術：新しい内面表現の探求

文学：自然言語に関わる芸術

研究室主宰者としての研究活動：

〆切が決まっている：有期
具体的な目的・目標がある
(内外の組織との) チーム活動によって
目標 (終結条件) を達成する

「プロジェクト」としての
要件

期限内に成果をもたらす

プロジェクトマネジメントの手法が適用可能

- 目的を設定する
 - 過去 = 背景・解決したい課題の明確化
 - 未来 = 将来像・Outcome
- 目的が達成できたかどうか**観測・識別**可能にする
 - 目標（終結条件）を明確にする
 - 目標レベル毎にcriteriaを設定する
- 目的を達成するための**最適な方法**を設定する
 - 制約条件と対象範囲（スコープ）を明確にする
 - モデリング
 - WBS（Work Breakdown Structure）を作成して活動内容を詳細化する
 - 手段・手順を明確化する
 - コスト管理
 - スケジュール管理

- **構想・VISIONを設定**
 - **判断 == 最適な選択肢を選択（最適化問題）**
 - **決断 == 責任範囲を明確にする（階層的組織）**
 - **連携 == 統合**
 - **構想・VISION共有 = 共感：コミュニケーション**
 - **多様な価値観の持ち主どうしでも、VISIONを共有できれば、連携できる**
- **想像 == 将来予見**
 - **リスクを想像し、行動方策の原理を明確にする**

プロジェクトマネジメントとは？

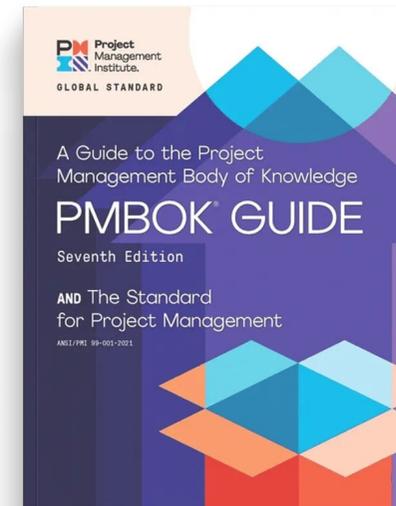
- プロジェクトマネジメント協会(PMI)のPMBOK (Project Management Body of Knowledge) ガイドでは、

プロジェクトとは

「**独自の**プロダクト、サービス、所産を創造するために実施される**有期性**の**業務**である」と定義する。

The Standard for Project Management

- 1. INTRODUCTION**
- 2. A SYSTEM FOR VALUE DELIVERY**
- 3. PROJECT MANAGEMENT PRINCIPLES**



PMBOK® Guide (7th Edition), Project Management Institute, August 2021

The Standard for Project Management

1. INTRODUCTION

- 1. Purpose of The Standard for Project Management**
- 2. Key Terms and Concepts**
- 3. Audience for this Standard**

2. A SYSTEM FOR VALUE DELIVERY

3. PROJECT MANAGEMENT PRINCIPLES

The Standard for Project Management

1. INTRODUCTION

2. A SYSTEM FOR VALUE DELIVERY

- 1. Creating Value**
- 2. Organizational Governance Systems**
- 3. Functions Associated with Projects**
- 4. The Project Environment**
- 5. Product Management Considerations**

3. PROJECT MANAGEMENT PRINCIPLES

The Standard for Project Management

1. INTRODUCTION
2. A SYSTEM FOR VALUE DELIVERY
- 3. PROJECT MANAGEMENT PRINCIPLES**
 - 1. Be a Diligent, Respectful, and Caring Steward**
 - 2. Create a Collaborative Project Team Environment**
 - 3. Effectively Engage with Stakeholders**
 - 4. Focus on Value**
 - 5. Recognize, Evaluate, and Respond to System Interactions**
 - 6. Demonstrate Leadership Behaviours**
 - 7. Tailor Based on Context**
 - 8. Build Quality into Processes and Deliverables**
 - 9. Navigate Complexity**
 - 10. Optimize Risk Responses**
 - 11. Embrace Adaptability and Resiliency**
 - 12. Enable Change to Achieve the Envisioned Future State**

End