

CEATEC RRI 工業会連携セミナー

第四次産業革命の先

～スマートに多彩なシステムがつながるSoS社会の実現～

2018年10月17日

モデレータ ロボット革命イニシアティブ協議会

水上 潔

パネラー 横断型基幹科学技術研究団体連合

青山 和浩

情報処理推進機構

端山 毅

電子情報技術産業協会

宇野達朗

上記以外の協力工業会 製造科学技術センタ



**Think systems,
not technologies**

出典：https://www.jmfri.gr.jp/content/files/Open/2017/20171130_Isynpo/AM1%20Mr.%20David%20Aikman_presentation.pdf

RRI工業会連携セミナー

第4次産業革命の先

～スマートに多彩なシステムがつながるSoS社会の実現～

『システム思考ガイドブック入門編の紹介』

2018年10月17日

ロボット革命イニシアティブ協議会

インダストリアルIoT推進統括 水上 潔

1. RRIの紹介
2. グローバルでの企業間連携
3. System of Systems
4. 製造業の変化の俯瞰
5. 時代背景の再確認
6. SoSの検討が必要、しかし・・・
7. 失敗事例の構造
8. システム思考の構造
9. SoS化で要求される事項の例
10. 今後の課題

「RRI」で検索 <https://www.jmfrri.gr.jp/index.html>

ロボット革命イニシアティブ協議会
Robot Revolution & Industrial IoT Initiative

アクセス | 会員サイト | English

Google カスタム検索

ホーム | RRIについて | IoT・ロボット関連情報 | オンライン・ライブラリ | イベント | 入会案内

Strategy Innovation Creativity Solution Teamwork Success

『システム思考』ガイドブック（入門編）のリリースについて

現在のモノ作りは、変動性、不確実性、複雑性、曖昧性が顕著になり、当初の想定とは違うものがつながらり、複雑さが増しています。その複雑さをコントロールする手段としてシステムズ・エンジニアリングを捉え、システムズ・エンジニアリング手法の底流にあるシステム思考を理解いただく

To Create a Sustainable Society

“Society 5.0” Sustainable Society

A human-centered society that balances economic advancement with **the resolution of social problems** by a system that highly integrates cyberspace and physical space



“Connected Industries”

To achieve Society 5.0, industries must play a key role.

“Connected Industries,” as a new concept framework in which industries will **create new added value and the solutions** to various problems in society **through connectedness** of various facets of modern life, including humans, machines, systems, companies.



ロボット新戦略

RRI is responsible for “Manufacturing and Robotics” domain of “Connected Industries”.



RRI (Robot Revolution Initiative)

To survive by agile and open value creation with Industrial IoT

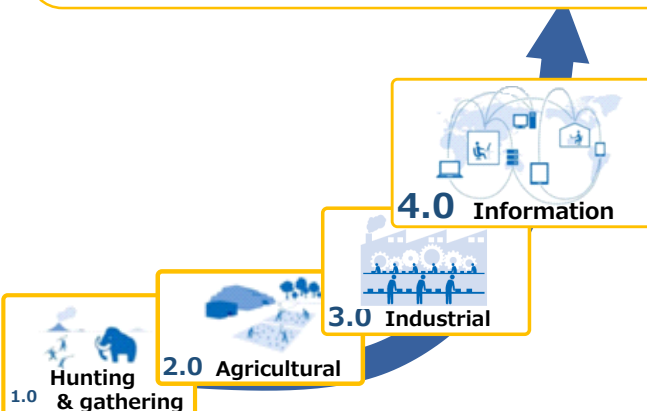
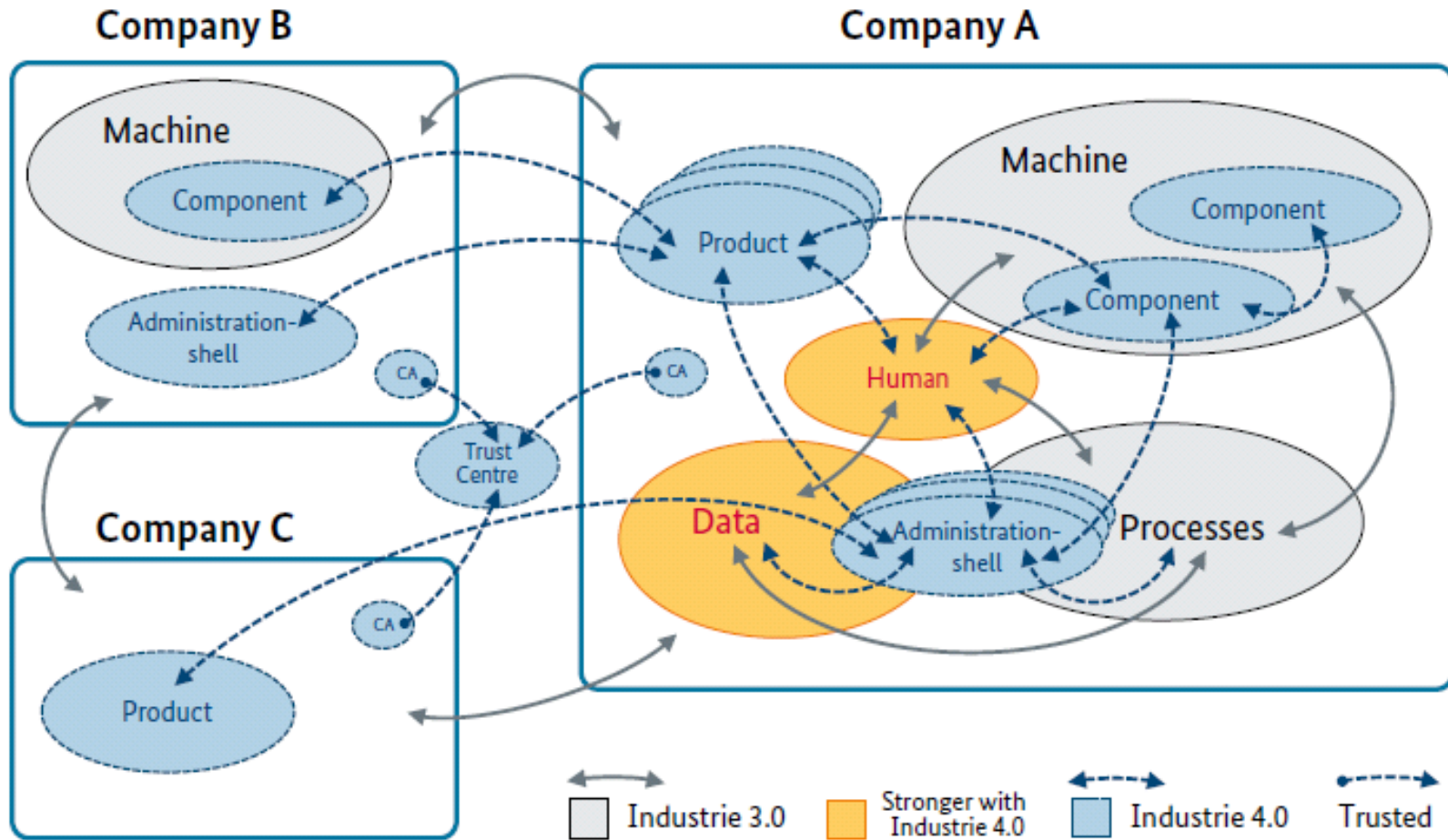


Figure 2: Communication links and trust relationships in Industrie 4.0



Source: Plattform Industrie 4.0

Society 5.0の資料より

超スマート社会

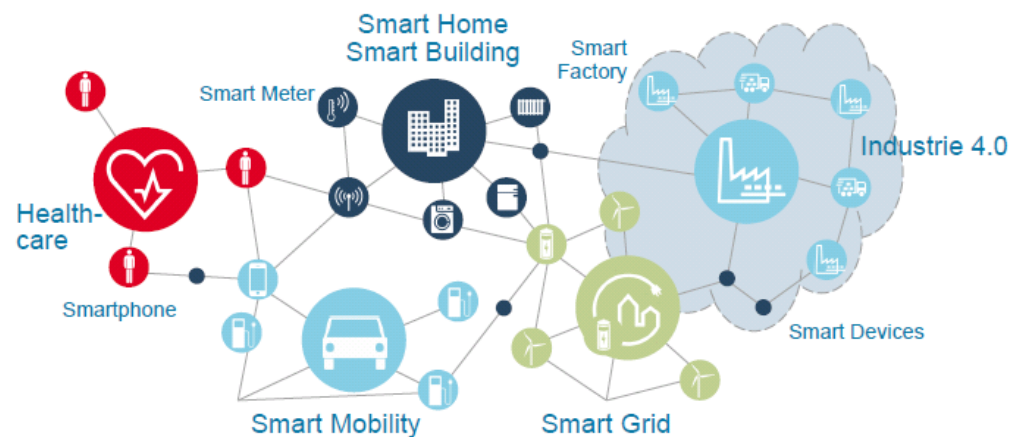
必要なもの・こと（サービス）を、
「必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供」でき、
社会の様々なニーズにきめ細やかに、かつ効率的に対応



Industrie 4.0の資料より

PLATFORM INDUSTRIE 4.0

The Internet of Things and Services



Graphics © Bosch Rexroth AG

4. 製造業の変化の俯瞰

人間本意の産業を目指して

“Connected Industries”

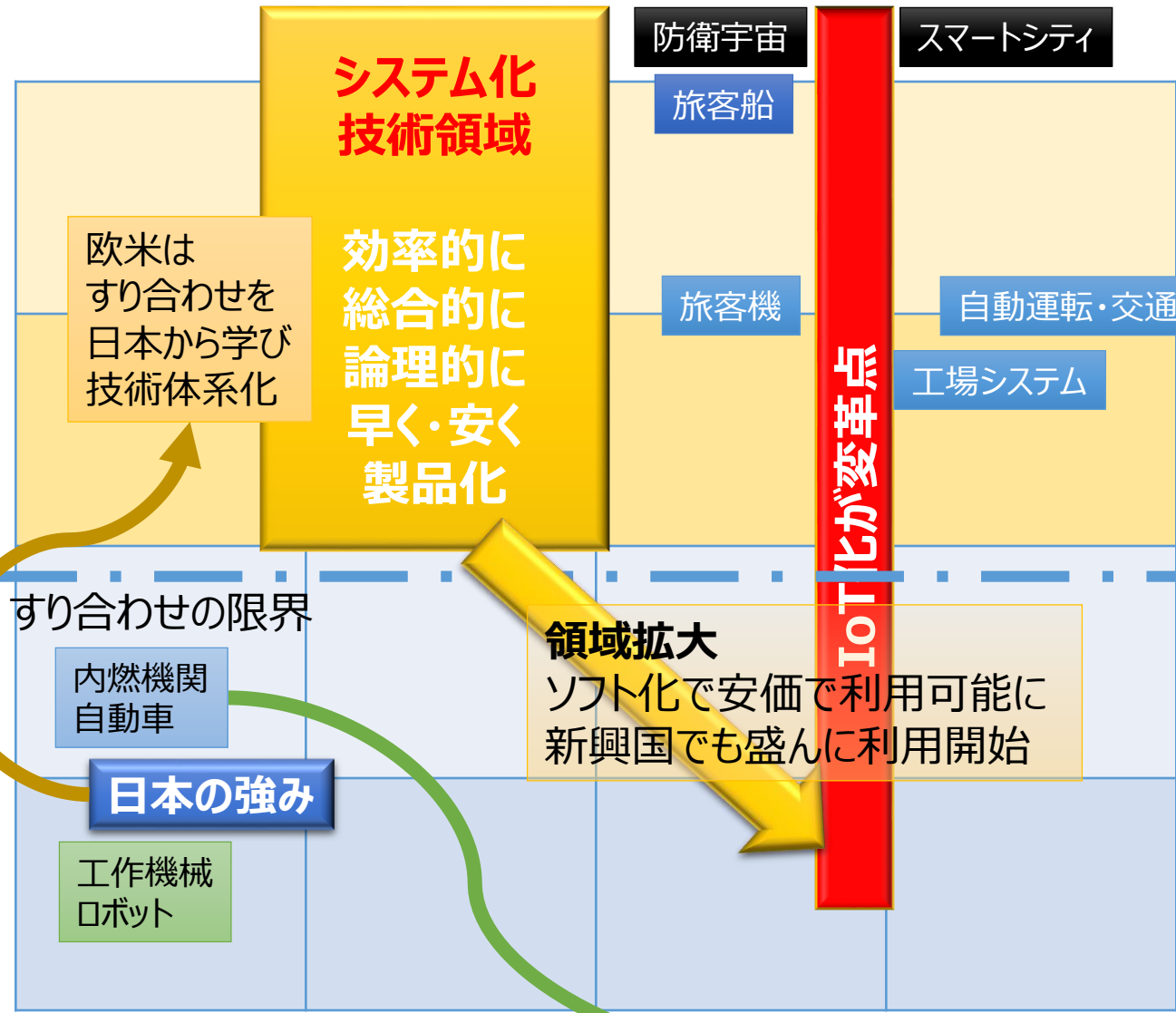
New vision for the future of Japanese industries

部品点数
1000万

100万

10万

1万



欧米は
すり合わせを
日本から学び
技術体系化

効率的に
総合的に
論理的に
早く・安く
製品化

領域拡大
ソフト化で安価で利用可能に
新興国でも盛んに利用開始

複雑化
高度化
モジュール化
システム化
ソフト化

仕事や生活が
よりシステマ
ティックに行わ
れるようになる。

1980年代

2010年代
EV

2020年代

日本の強み

4. 製造業の変化の俯瞰

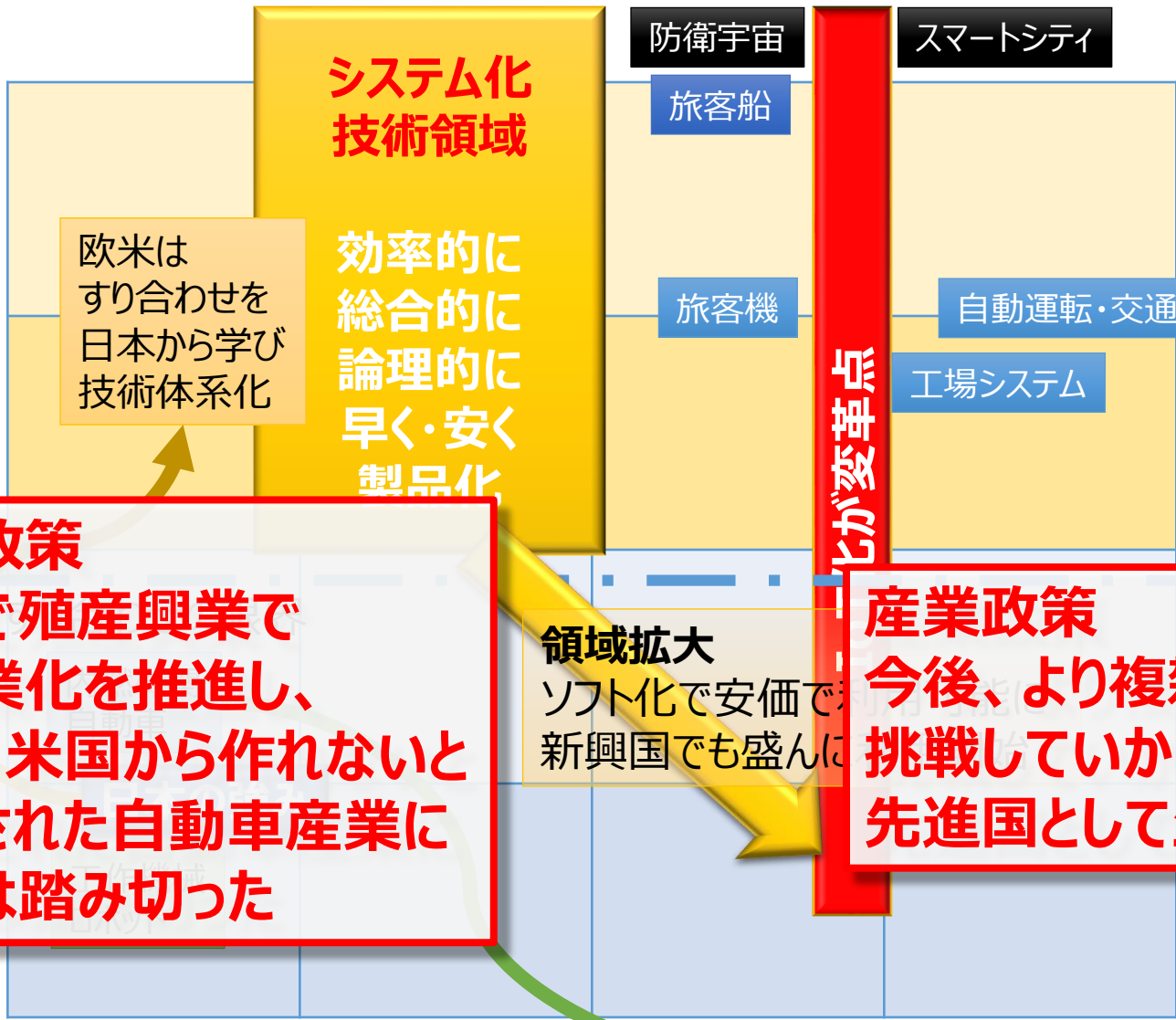
人間本意の産業を目指して

“Connected Industries”

New vision for the future of Japanese industries

部品点数
1000万

100万



欧米は
すり合わせを
日本から学び
技術体系化

複雑化
高度化
モジュール化
システム化
ソフト化

仕事や生活が
よりシステマ

産業政策
維新で殖産興業で
重工業化を推進し、
戦後、米国から作れないと
否定された自動車産業に
日本は踏み切った

領域拡大
ソフト化で安価で
新興国でも盛んに

産業政策
今後、より複雑なものに
挑戦していかないと
先進国として生き残れない

1980年代

2010年代
EV

2020年代

ものづくりを取り巻く環境の様々な急激な変化

- 技術革新の加速化
- **モジュール化**・コモディティ化・アーキテクチャ化・システム化・SoS化
- サービス化・ソフトウェア化
- ものづくりの水平分業化
- 高い労務費、労働人口の減少
- 市場の成熟化、ニーズのカスタマイズ化、エクスペリエンス・コト重視

日本企業はこれまでにない新たな課題に直面している

- オープン・イノベーション、エコシステム化
- Cyber・Physicalものづくり、データ利活用、AI活用
- 高度な自動（自働？）システム化
- 企業活動・産業活動の全体のコントロール
- つながる世界の相互信頼関係の構築
- 新たなエクスペリエンスを提供するコトづくり

背景（それ以前の課題がある）

- RRI/WG1では、IoT化が進み、設備機器がインターネットにつながる世界、機械・電気・情報通信系の様々なシステムシステムがつながる社会、System of Systems (SoS)の社会（特に次世代の製造業）を理解しようと、SoS調査研究チームを立ち上げた・・・
- しかし、参加メンバーの議論から、欧米の取り組みとは何か根本的な点から違っているのではないかという話題になった
 - 1つのシステムであるハード系の設計開発レベルでもうまく開発できていない課題がある
 - SysMLを学んだが、設計開発レベルの課題を必ずしも解決出来ない

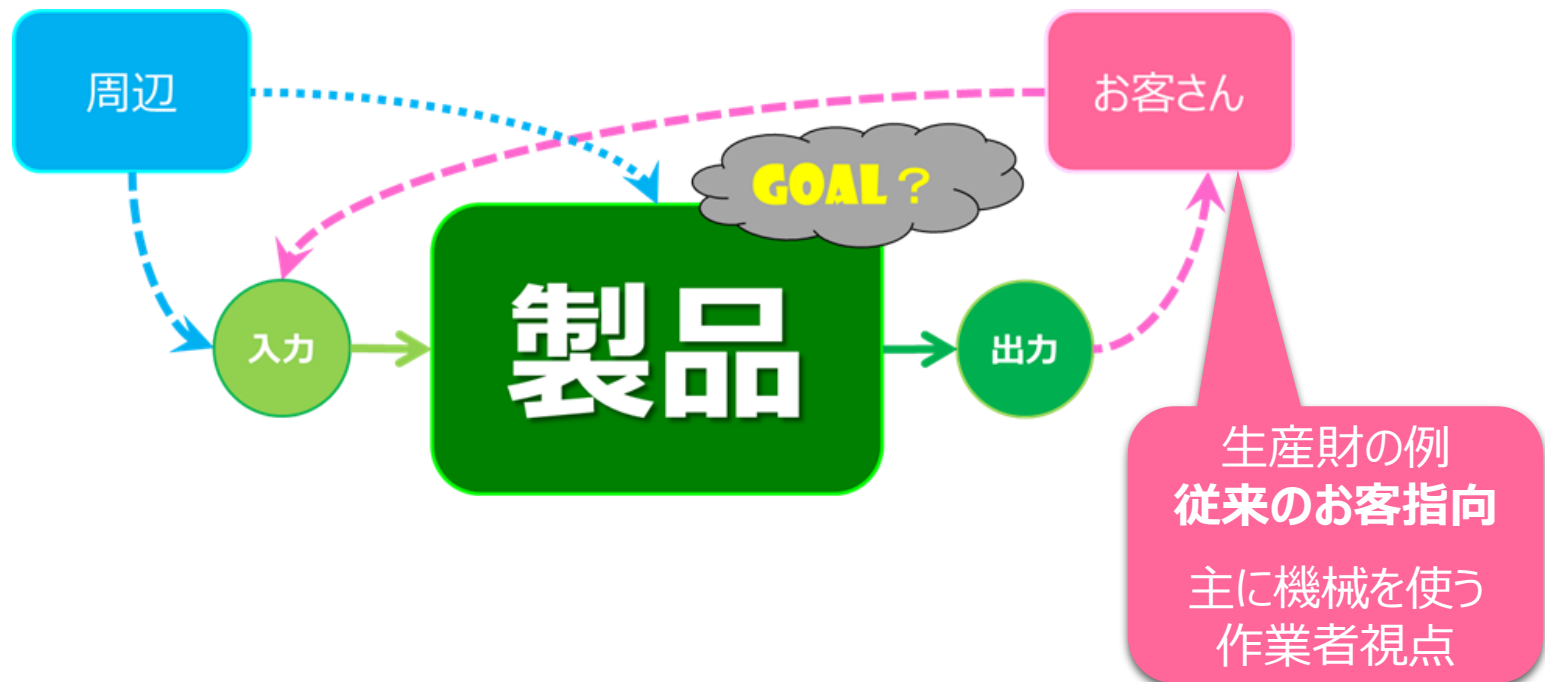


SoSの理解以前に、システムズ・エンジニアリング手法の
底流にあるシステム思考の理解が必要



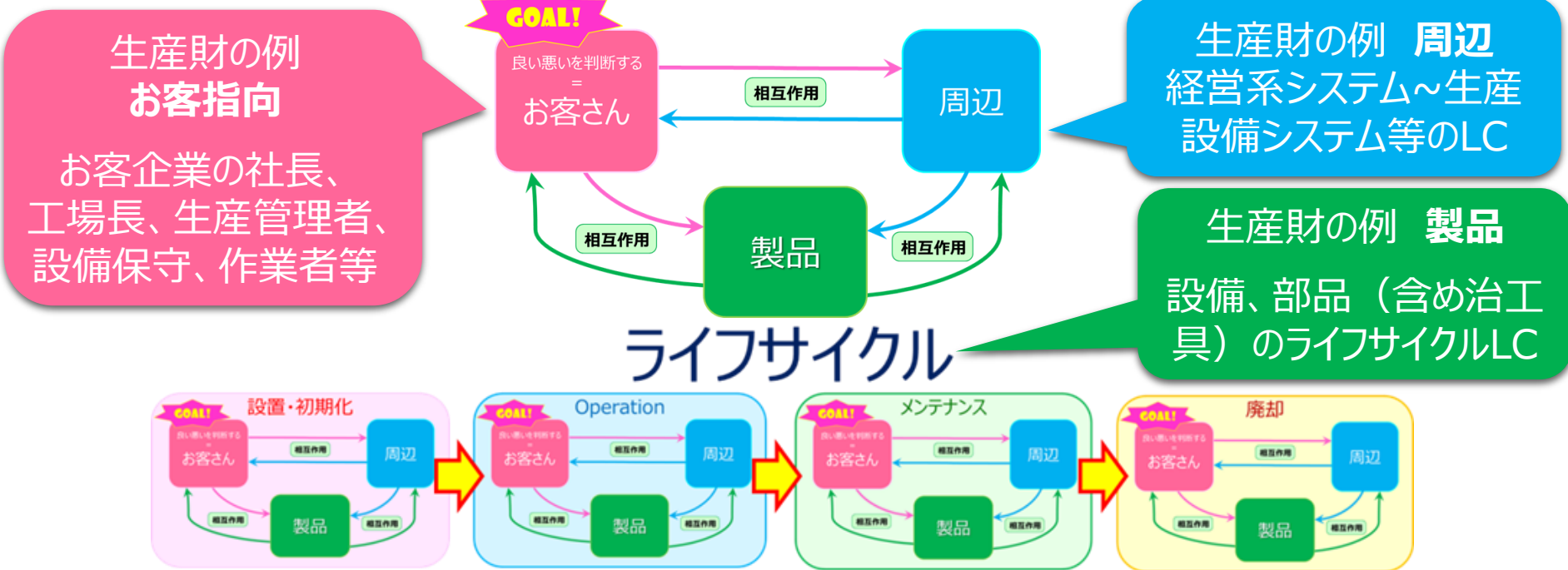
そのためのガイドブック（入門編）を作成

- 失敗の事例の多くは、対象とする製品を中心に、その製品の入力、出力の要求を分析するために、事前の検討が、製品を取り巻く様々な環境、事象全てに対して、十分分析が行われていない
- 分析の漏れ抜けが不具合を生み、大きな手戻りを発生させている



8. システム思考の構造

- 基本的には製品そのものだけで、製品そのものの良し悪しを決めることはできず、それを使用するユーザーによってのみ、その製品の良し悪しを最終的に決定できる
- ユーザーとその製品の周辺には、それらを取り巻く環境があり、更には、ユーザーがその製品を使用していくライフサイクルがある
- 製品は、これら全てとの相関関係があり、その相互作用から要求される振る舞いが機能となりその製品への要求となっていく
- これらユーザーと製品とその周辺環境との相互作用を、如何に空間的・時間的に俯瞰し、事前にその製品への要求を網羅的・階層的に導きだしていく考え方がシステム思考であり、そのための方法論として期待されるのが、システムズ・エンジニアリングである



1. **ユーザ・顧客視点** → **サステイナブル：トリプルボトムライン***・SDGs
 *環境・社会（市民）・経済（経営）

2. **生産財機械のユーザとは**
 1. **機械**の作業員、保守員……
 2. 工程**管理者**、生産管理者、資産管理者……
 3. 製品設計者、設備設計者、工場長、経営幹部……
 4. 製品のユーザ（顧客の顧客）……

3. **説明責任**
 システム（SoS）が事故・不具合発生時の個品の機能に対する説明
 何故その機能にしたのか、どうしてその機能を妥当と判断したのか

4. **コミュニケーションツール**
 多様なユーザや関係者がシステムを検討する上で、異文化交流が
 可能なコミュニケーションツールが必要。

今後様々な関係者と調査や検討が必要な項目

- 情報システム側でのシステムの捉え方と機械・電気のハードウェア側から見たシステム捉え方の共通点と相違点の明確化
- システムズ・エンジニアリングの全体像の把握
- 日本でのシステム思考、システムズ・エンジニアリングが未普及の原因
- 日本のボトムアップ文化に合ったシステム思考の検討
- システムを企画、開発、運用する上での責任の連鎖を担保する組織論やマネジメントの必要性と体系化
- 機械、電気製品から始まり、部品点数の観点（自動車→飛行機→大型客船など）、複雑化の観点（自動運転や航空システム、スマートエネルギー、スマートシティなど）それぞれの段階にあったアプローチ
- 分野別事例の整理やツールの体系化
- ガイドブックの検討（今回が入門編とすると、導入編）
- 海外を含む他の活動との情報交換



人間本意の産業を目指して

“Connected Industries”

New vision for the future of Japanese industries

1. 機械、電気、情報のシステムの捉え方の同異点
2. 現状のシステムの苦勞（例 メカ・エレキ・ソフトの関係性）
3. 経営 システムを企画・開発・運用する上での責任連鎖担保
4. システムに対応するための必要な素養やものの見方（哲学）
5. 日本にあったシステムアプローチ（例 ボトムアップ）
6. 日本人はシステムで捉える能力があるのか？
7. 欧米と日本の差
8. 日本ではどうしていくべきか
9. 人材育成は
10. システムに対する理論化・体系化・科学化は完成しているのか
11. システムアーキテクチャとは何でどう検討していくべきか



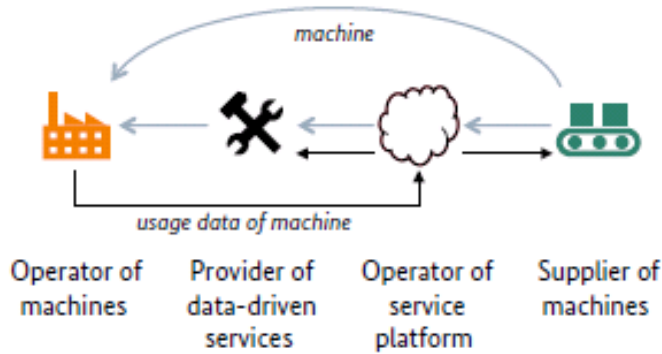
人間本意の産業を目指して

“Connected Industries”

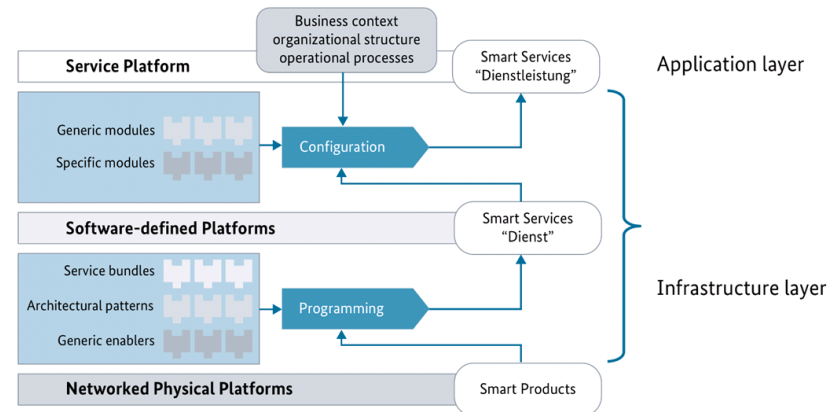
New vision for the future of Japanese industries

RRIは日独で協力して、将来像の1つ顧客価値基準のサービスモデルを検討

ユーザ・システム・環境のモデル



アーキテクチャ



Source: Siemens

運用の振舞い

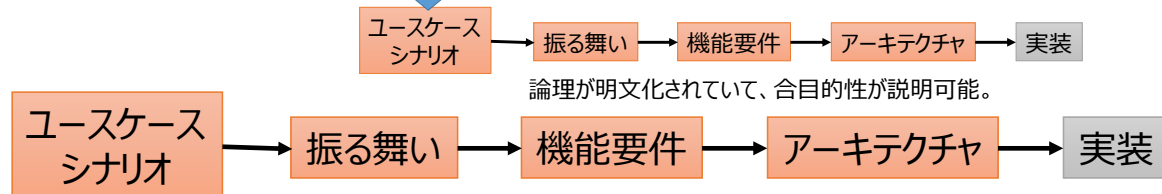
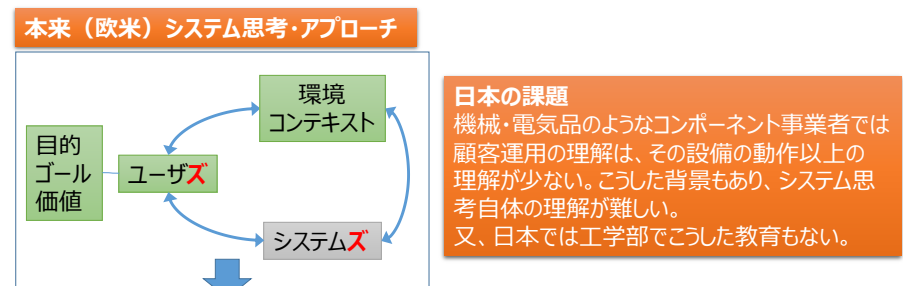
アセットとIIoTシステムの設定と再構成のエンジニアリング :

- アセット(コア)の接続
- アセットの再構成
- その改善を含むアプリケーションの構成 (例えば、アセットの使用データの分析アルゴリズム)
- 機能ブロックのライブラリの開発 (サービスプラットフォーム外で開発された組み込み機能ブロックを含む)
- サービスプラットフォームの開発

アセットの運用とIIoTシステムの運用と保守 :

- **アセット(コア)の使用データの収集と分析(I3レベル)**
- 自発的な要求に関する追加データの記録
- サービスプラットフォームの運用と保守
- 行動(コア)要求に対するそれぞれの勧告の生成
- 行動(コア)要求に対するそれぞれの勧告の実行
- アセットのベンチマーク

システム思考

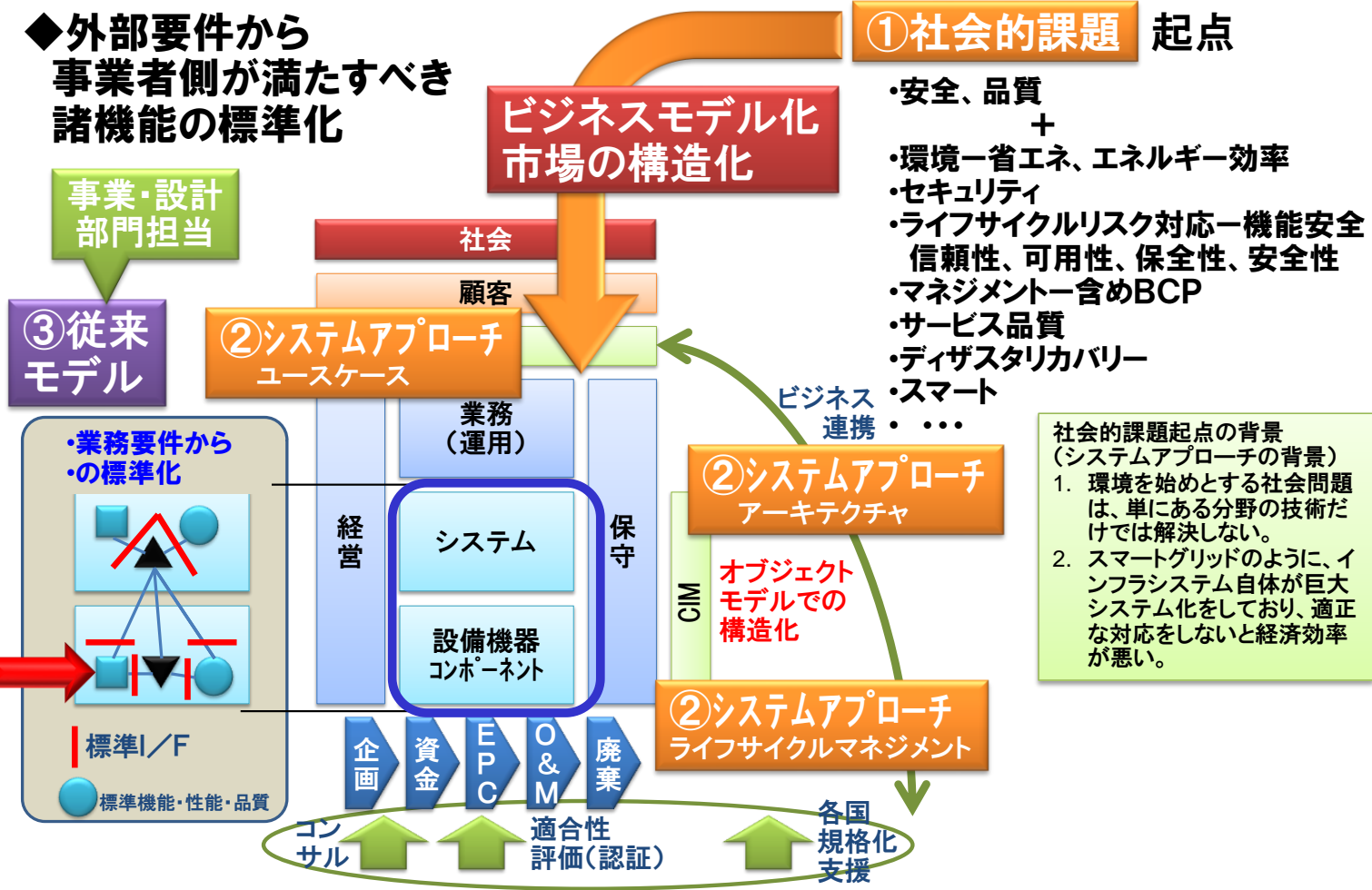


従来（日本）



技術とインプットとアウトプットから設計論理的に社会やユーザの目的と機能の妥当性の説明難。

◆外部要件から事業者側が満たすべき諸機能の標準化



社会的課題起点の背景（システムアプローチの背景）

1. 環境を始めとする社会問題は、単にある分野の技術だけでは解決しない。
2. スマートグリッドのように、インフラシステム自体が巨大システム化をしており、適正な対応をしないと経済効率が悪い。

日本では、このレベルに視点が行く

ものづくりを取り巻く環境の様々な急激な変化

- 技術革新の加速化
- **モジュール化**・コモディティ化・アーキテクチャ化・システム化・SoS化
- サービス化・ソフトウェア化
- ものづくりの水平分業化
- 高い労務費、労働人口の減少
- 市場の成熟化、ニーズのカスタマイズ化、エクスペリエンス・コト重視

日本企業はこれまでにない新たな課題に直面している

- オープン・イノベーション、エコシステム化
- Cyber・Physicalものづくり、データ利活用、AI活用
- 高度な自動（自働？）システム化
- 企業活動・産業活動の全体のコントロール
- つながる世界の相互信頼関係の構築
- 新たなエクスペリエンスを提供するコトづくり

ものづくりを取り巻く環境の様々な急激な変化

- 製品や技術の**コモディティ化**が進み、新興国の製品・技術との**差別化が難しく**なっている
- 製品の主な**価値**が存在する場所が、**ハードウェアからソフトウェアに移行**してきている
 - 単独の企業または企業体内ですべてを賄う**垂直統合型**から、不得意な技術や不足する技術を他に求める**水平分業**へ**ものづくり**が変わってきている
- **高い労務費**を抱え、今後**労働人口が減少**する構造的な問題がある
- **市場のニーズ**が、単なるモノの購入で満足するのではなく、**エクスペリエンスを求めるコト**に変わってきて、単純大量ではなく個性化・個別化し、さらに時間により次々に変化している

日本企業はこれまでにない新たな課題に直面している

- Physicalの世界をCyberに取り込み、この**CyberとPhysicalを融合したものづくりへの対応**
- モノからデータを取りだし、**取り出したデータの利活用、AIの有効的な活用**
- 人に頼った仕組み人海戦術ではなく、**システムの対応**
- Value Chain・Supply Chain・Engineering Chain・**経営の全体のコントロール**
- つながる**世界の相互信頼関係の構築**
- 新たな**エクスペリエンスを提供するコトづくり**

背景（それ以前の課題がある）

- RRI/WG1では、IoT化が進み、設備機器がインターネットにつながる世界、機械・電気・情報通信系の様々なシステムシステムがつながる社会、System of Systems(SoS)の社会（特に次世代の製造業）を理解しようと、SoS調査研究チームを立ち上げた・・・
- しかし、参加メンバーの議論から、欧米の取り組みとは何か根本的な点から違っているのではないかという話題になった
 - 1つのシステムであるハード系の設計開発レベルでもうまく開発できていない課題がある
 - SysMLを学んだが、設計開発レベルの課題を必ずしも解決出来ない



SoSの理解以前に、システムズ・エンジニアリング手法の
底流にあるシステム思考の理解が必要



そのためのガイドブック（入門編）を作成

読者に伝えたいこと

- ものづくり環境の変化の中で、構築されるシステムは、変動性、不確実性、複雑性、曖昧性の特徴がますます顕著になってきている
 - その代表例が、IoTシステム
 - **当初の想定とは違うものがつながら、複雑さが増す中で、その複雑さをコントロールする手段が必要**
 - その手段が、システムズ・エンジニアリングの手法であり、その底流にあるシステム思考を理解する一歩として、伝えたいことを以下に示す



- システム思考が重要
- システム思考で考えるとは、ユーザーの環境下でのユーザーの価値と運用を考える事
- システムズ・エンジニアリングの手法（例えばSysMLなど）を適用しているからと言ってシステム思考・アプローチとは言えない

想定する対象の読者

- 技術者をはじめとした、製品開発に関わる全ての人、さらには製造業ビジネスの経営者含めた関係者、を対象

対象とするシステム

- マルチドメイン(機械・電気・制御・情報通信など)を融合するシステム、例えば、自動車のABSの例のように、機械系と電気系があってさらにソフトウェアが介在しているというような複合要因があるような製品
- (グローバルで) 企業間連携を必要とするシステム
- 状態爆発を起こす可能性があるシステム
 - システムを構成する要素が膨大になり、外部要素との関係性が膨大になるシステム
 - システム全体のシステム特性 (信頼性、可用性、保守性、安全性) の立証が必要なもの

ガイドブックの位置付け

- 日本のものづくりの限界を共有し、システムエンジニアリングの推進力を備えた設計開発プログラムの実施のための考え方の視点（システム思考の基本）を提供し、システムズ・エンジニアリングの手法を適用してみようとする動機付けを行うもの
 - 従来型のある狭い領域の技術（機械系、電気系等）に携わり、携わっているサブシステムあるいはコンポーネントの入出力だけに注意を払い、**ボトムアップ的にシステムを開発するものづくりの手法が限界**にきている事実を共有し、気づいていない人に気づきを与え、‘問題意識’として、**今の延長上に解はないという共通認識**を醸成
 - システムズ・エンジニアリングの観点から新しいものづくりのアプローチの示唆を提示し、あるべきシステムの姿とシステム思考を普及させるための**初心者向け、導入初期のガイドブック**とする
 - 手法や方法論ではなく、**考え方の気づきを与えることに重点**を置く

身近な事例

● 実装優先主義

- 機能の実現のために思いついた手段の実装を優先するあまり、たとえ開発の中で想定外の問題が起これば本来満足しなければならない性能が徐々におろそかになっていっても、最後までその手段の実装に執着してしまった。システムの目的、狙いを見失って実装が先行してしまう

● 暗黙知開発

- 開発の最初に目指す姿は見えておらず、開発の最後に元々目指していたことも見当たらない
- これは経験が問題を潰しこむやり方であり、経験に無い問題は発生してから潰していくしかない
- 開発のエビデンスが残らず、要件から結果までのトレーサビリティが取れない
- 品質確保（エキスパートを黙らせる）のためには、念には念を入れた人海戦術に頼らざるを得ない

● 要求は作って見るまでわからない

- 顧客に製品を持って行き実際に動かして、その評価結果をもらいながら要求を満足させていく

車両制御の事例：

- 製品が車両に搭載されてからのフィードバックがかかることで要求の見直しされる
- このために、車両制御が熟成され、変更がほとんど必要なくなる状態になるのに10年位かかることがある

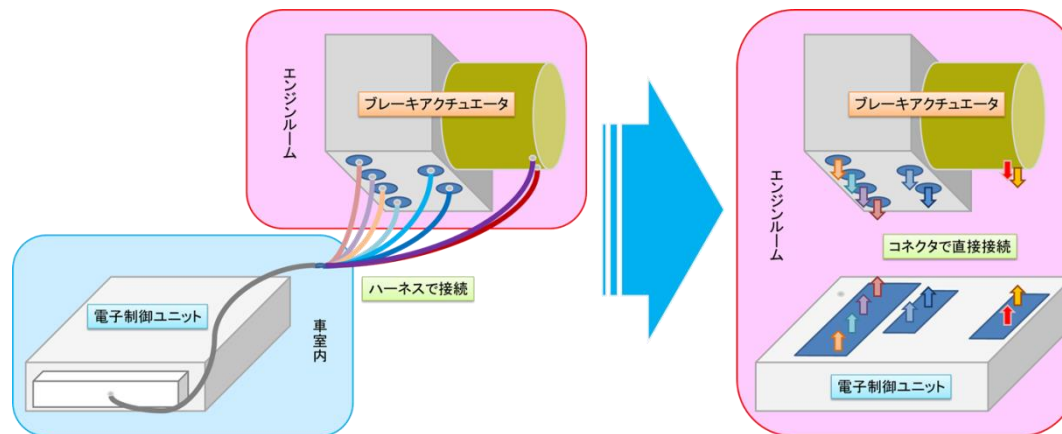
具体的な失敗事例（ABSの例）

● 変化を好まない変化への対応

- 既存の製品の取り付け環境や、使用方法の変化に対して、とにかくまずは**既存の製品の改良で対応**
- 実際の環境や使用方法で評価をすると、変化をとらえきれておらず次々と不具合を経験することになる

自動車の制御ユニットの失敗事例：

- 車両の室内搭載の電子制御ユニットを、エンジンルームに搭載を変更した際に、そのままエンジンルームのアクチュエータに直付けした。そのため電気系インタフェースのための接合面が多く残り、更に電子制御ユニットが横置きだったため、水の侵入経路が多く、水が一旦入ってしまうと抜けにくい構造になっていた
- 結果的に水の侵入に悩まされ、特に製品の運搬や保存時の水の侵入については検討が不足している



車室内からエンジンルームへの搭載変更に対して

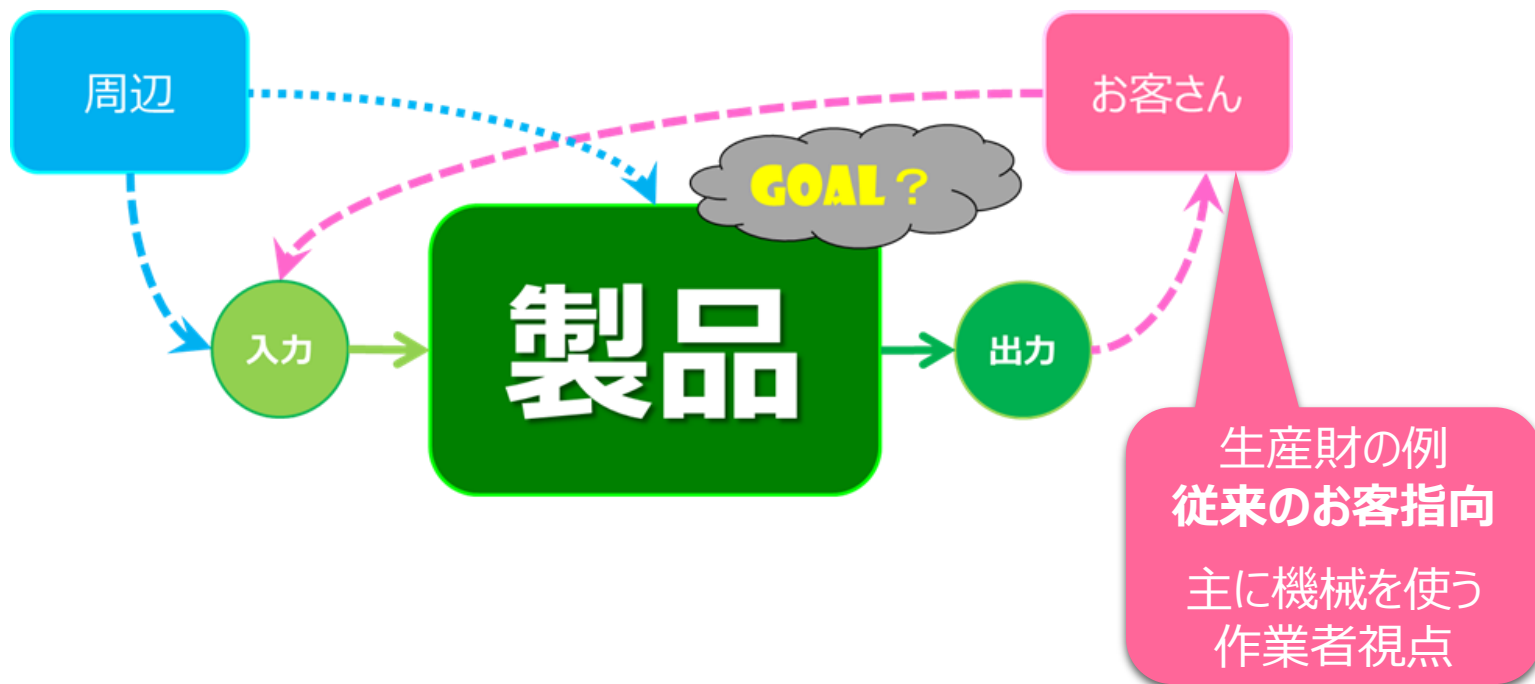
- 従来の技術の延長で、くっつけると言う考えしかなかった
- 環境変化の水・熱問題、ライフサイクル上の運搬・保管の問題について、問題が起こるたびに対応をしていった
- 結果的にそもそもどうしていなければならなかったのか？ という検討が出来ていなかったため、不具合対応もパッチ対応となり、根本対策とならなかった

問題を起こしてから気づくことが多かった

- 搭載位置の変更によって、システムと周辺との物理的な相互作用をも極める
⇒水・熱の影響
- 運用だけではなく、開発、製作、保管、運搬、運用、保守等のライフサイクル全体を見渡す
⇒水が入ってくるのは運用時だけではない
- システムとして行わなければならないこと、起こしてはいけない事を明確にする
⇒電気の部品と、メカの部品を分離する
⇒電気の部品はモールドして水が入らないようにする
⇒電気のコネクタの数・サイズを必要最小限にする

初めから多視点で考えることが大切

- 失敗の事例の多くは、対象とする製品を中心に、その製品の入力、出力の要求を分析するために、事前の検討が、製品を取り巻く様々な環境、事象全てに対して、十分分析が行われていない
- 分析の漏れ抜けが不具合を生み、大きな手戻りを発生させている



- 基本的には製品そのものだけで、製品そのものの良し悪しを決めることはできず、それを使用するユーザーによってのみ、その製品の良し悪しを最終的に決定できる
- ユーザーとその製品の周辺には、それらを取り巻く環境があり、更には、ユーザーがその製品を使用していくライフサイクルがある
- 製品は、これら全てとの相関関係があり、その相互作用から要求される振る舞いが機能となりその製品への要求となっていく
- これらユーザーと製品とその周辺環境との相互作用を、如何に空間的・時間的に俯瞰し、事前にその製品への要求を網羅的・階層的に導きだしていく考え方がシステム思考であり、そのための方法論として期待されるのが、システムズ・エンジニアリングである

