

2017.11.7: 「システム・イノベーション」シンポジウム
主催：横幹連合，場所：東京大学 武田先端知ビル 武田ホール

- パネルディスカッション -

「システム・オブ・システムズ」 の時代を迎えた日本の課題

東京大学 大学院工学系研究科
システム創成学専攻

教授 青山 和浩

aoyama@sys.t.u-tokyo.ac.jp

<http://www.m.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>

背景：多様化社会，複雑化社会の本格化

- 顧客要求の多様化が加速。多様性は，様々な機能の組合せ，融合によって実現
- 構成要素レベルの融合から，システムレベルの融合へ
 - **System of Systems**：複合大規模複雑システム
 - 製造システムと製品システム，社会システムと製品システムなど
- サービスシステムの時代：モノからコトへ
 - **Product Service System**
 - 要求の記述，評価，実現技術の重視
 - 新しい要求を実現する機能の設計，機能を実現するシステムの設計が重要視される時代
 - サービスを必要とする人がシステムを設計する時代へ：必要は発明の母の時代，万人がエジソン
- 第4次産業革命 Industry4.0：情報技術によるものづくり革命
 - 生産システムのグローバル・ネットワーク化，サービス化
 - クラウド，ビッグデータ
 - 3Dプリンタから製品プリンタの実現
- トリリオン革命：年間1兆個のセンサー社会
 - **IoE：Internet of Everything** すべてが繋がる社会，情報爆発時代
 - 次世代LSI：小型化，省電力化，使い捨て，目的用途型／単機能化

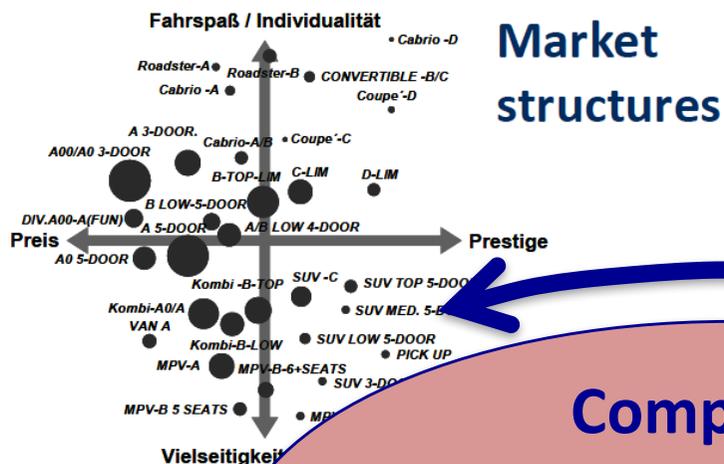
System of Systems の時代へ

- **部品から製品へ**
 - 単一機能を有する部品（人工物）によって機能が得られた。例えば，鉛筆。
 - 複雑な機能を要求するために，機能の分化と総合化（組合せ）によって製品（人工物）が産まれた。例えば，万年筆
- **製品からSystemへ**
 - 要求する機能の複雑化，高度化に伴い，製品はより複雑なシステムへと変貌
 - 例えば，ワープロ専用機，PCとソフト。
- **System から System of Systems へ**
 - 社会システムにおける製品システムの位置づけ，複雑化，高度化する顧客要求
 - ライフサイクルまで考慮した製品システムの計画と設計
 - 製品（人工物）が溢れた世界でのシステムのネットワーク（人工物ネットワーク）を考慮した System of Systems を計画，設計する必要性
 - 例えば，ブログなど
- **System of Systems の計画・設計に取り組む時代**
 - 対象とするシステム境界の拡大
 - 複雑，多様な階層の認識
 - 多段階な意志決定の必要性

**システム・デザイン/システム思考の重要性の認識と
その対応へ向けて**

Increasing of Complexity in product development

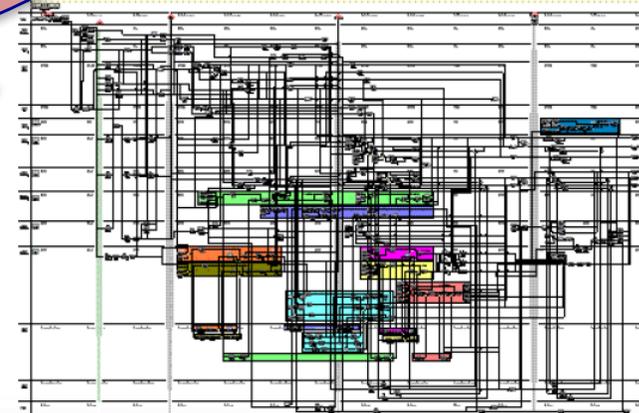
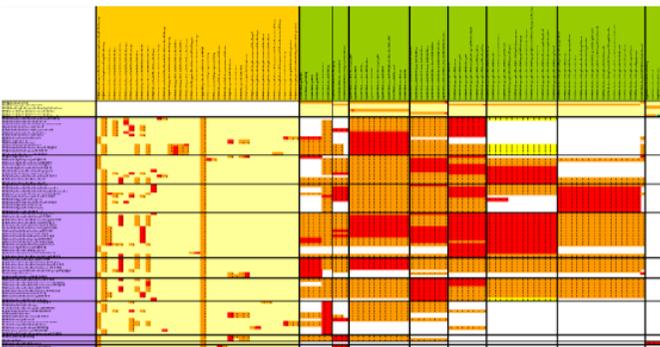
1985:	9 Segmente
1992:	16 Segmente
1997:	24 Segmente
2002:	33 Segmente
2005:	> 40 Segmente



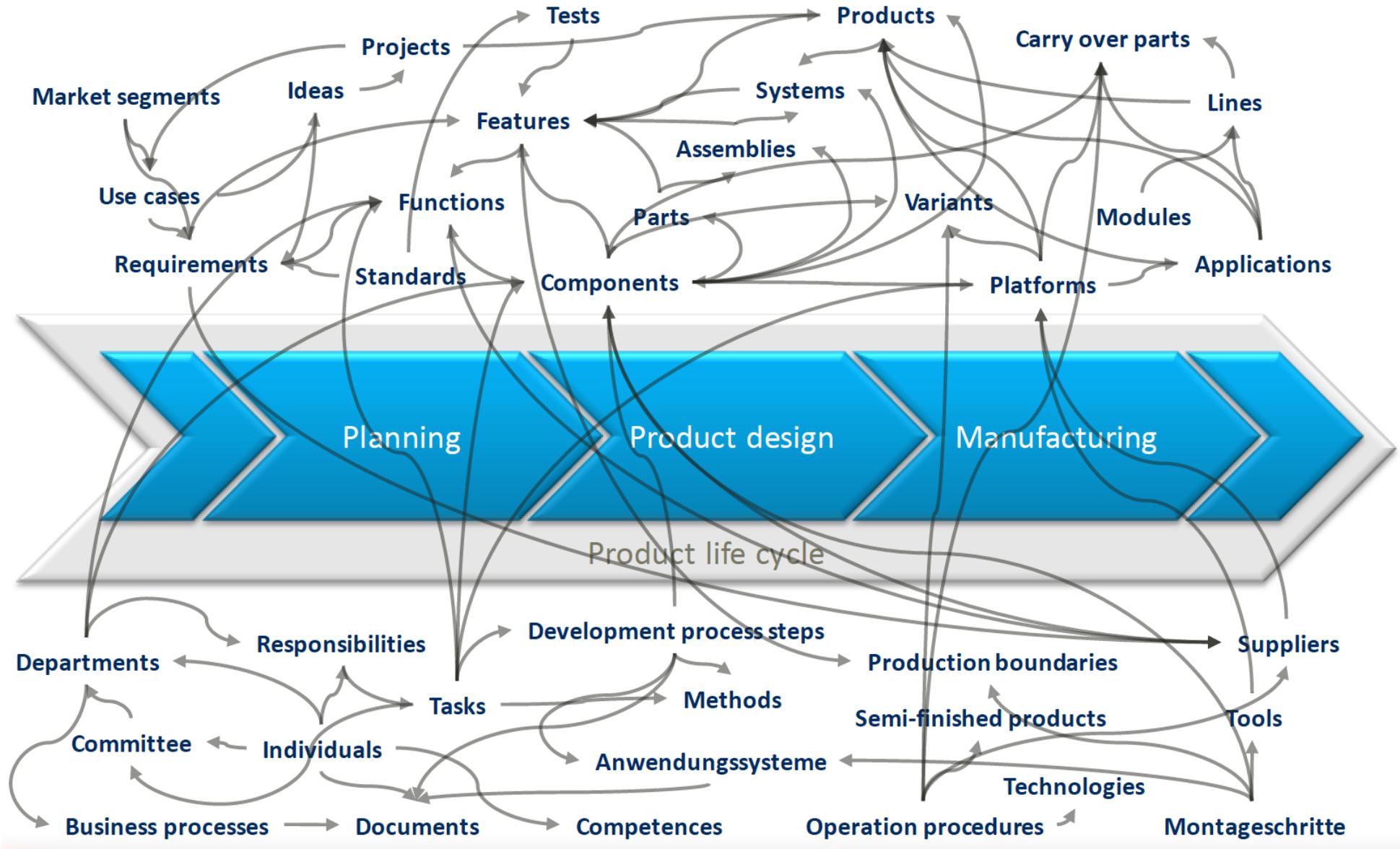
Product structures

Process structures

Organizational structures



複雑な構造をもつシステム設計開発



待望されるシステム力

システム化

- 同種・異種の機器、装置、業務、組織、規範などを繋げて全体としての新しい価値を創造し、機能を高めるシステムを作り出すための計画・設計・開発・解析・実装・評価などの作業の総称

システム化にはシステム力が不可欠

システム力とは

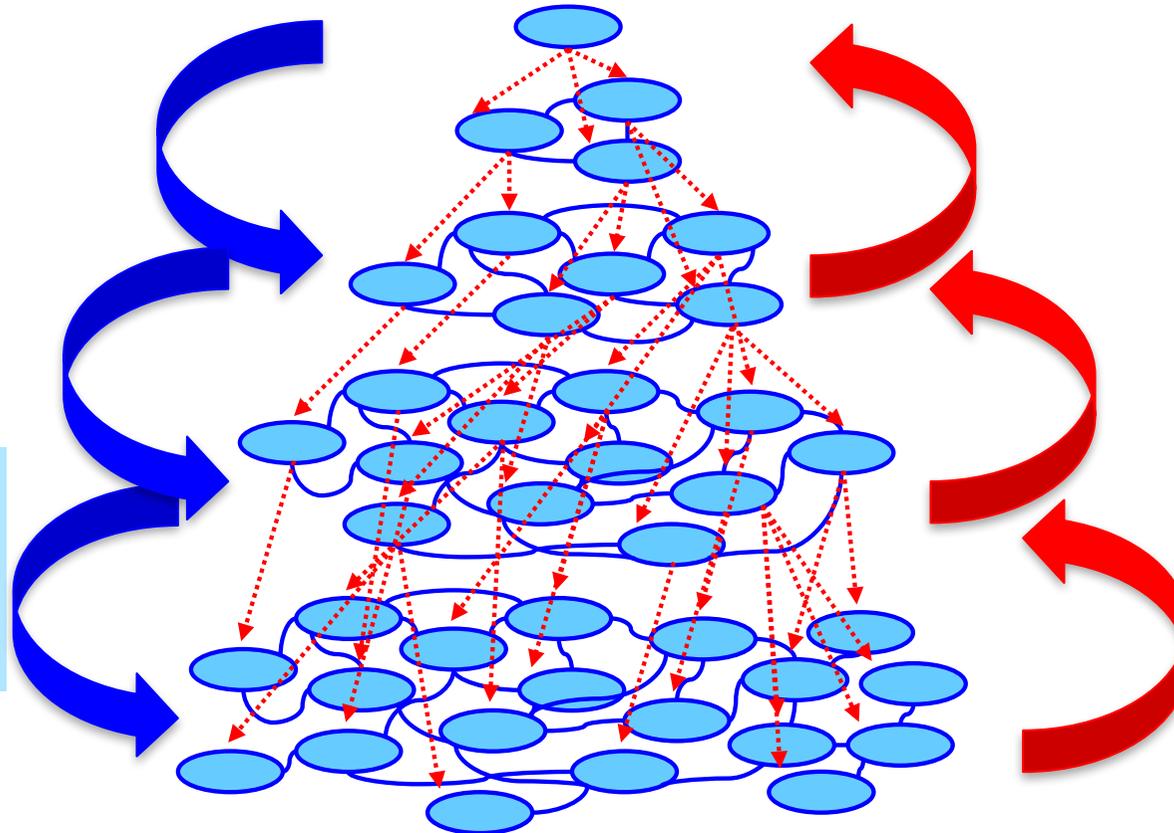
- 複雑な対象，問題の本質を捉え，解決する力
 - 俯瞰的思考，分析的思考
 - デザイン力，マネジメント力
-
- アーキテクチャ・デザイン，マネジメント
 - プラットフォーム，モジュールのデザイン，マネジメント
 - 標準化，インタフェイスのデザイン，マネジメント

システムを創成する過程と能力

常に新しい試みを果敢に実験する志向

具体的な現象からその背景にあるものを見抜くことができる抽象化の能力

構成要素の認識, 仮定
要素間の関係の認識, 仮定



抽象化力に基づいて広い視野から判断を行うための体系的思考ができる能力

構成要素の評価, 確定
要素間の関係の評価, 確定

異なる文化や価値観をもつ人々を含めて共同作業を行う能力

21世紀の教育で重要な課題は、シンボリック・アナリストを人類全体の役に立つ手だての発見に向かわせると同時に、その弊害を最小限に抑制するような市場を組織し、作りあげることである。(ライシュ)

システム化の遅れに起因する日本の弱点をもたらし根源的要因

システム化の遅れに起因する日本の弱点

技術的要因

制度的要因

根源的要因

■企業経営の視点

マネジメント：迅速性の欠如、企業内独立採算制からくる投資判断の局所化

大規模複雑システム運用論理が未成熟（自律分散論理への傾注、財務視点のみからの運用）

IBP等グローバル先端技術が未消化

経営層に対するシステムズアプローチ効果（戦略論理化）の啓蒙不足

産業界のシステム課題解決へのアカデミアからの参画ができていない

高度システム製品立ち遅れ

・システム・イノベ（新システム創成）技術、エコシステム構築論が未成熟
・複雑性の進展に追従できる大規模システム設計論が不在

モジュール化等大規模システム基盤技術が未消化

システム・イノベに関する教育体制が未整備（経営層・社会人向けを含む）

自前主義（オープンイノベ欠如）

要素技術偏重

社会実装を踏まえたシステム開発研究がなされていない

IT活用：活用効果を出せない、大量のレガシーシステム存在

ビジネス・アーキテクチャ論不在（既存業務から出発した情報システム構築、過度なカスタム化）

IT部門の下請け的認識：IT従事者の処遇の低位性、経営人材としての期待が希薄

ユーザ企業におけるIT取組みが低水準

IT従事者へのシステム化教育が未整備

グローバル展開：技術移転ができない

暗黙知の形式知化プロセスが未発達

知識管理が未整備（人事管理視点のみの組織運営）

■産業政策の視点

国際標準化への取組み遅れ：先行的な取組み体制の欠如

ビジネス・アーキテクチャおよびエコシステム構築論が未成熟

国際標準化におけるアーキテクチャ（国際分業）への戦略的な取組み体制の欠如

ビジネス知識標準に関する周知の不徹底

IT産業が弱体：著しく低いソフトウェア競争力、サービス産業の遅れ

業務論理の構成力が未成熟、事例からの汎化技術が未成熟

ITに先行すべき業務論理化（システム化）の重要性認識がないIT振興施策
例：業務論理化力の育成制度が未整備（独英等のIT人材はマネジメント層が増加）

システム産業の欠如

システム化論理の体系化が未整備

システム化が日本の分厚い要素技術を活用する価値創出の事業機会であるが振興策がとられていない

研究開発体制：要素技術偏重・プロセス管理が未徹底

研究開発における社会実装（システム化）の想定・フォローアップ体制が未整備

現場力への過信（これまでの強みが弱点へ）

ITの捉え方の歪み

タテ割りが支配的な組織と文化

人材流動性の乏しさ

暗黙知の支配

IBP: Integrated Business Planning

システム化の遅れに起因する日本の弱点

企業経営の視点から

- 高度なシステム製品開発の立ち遅れ
- 要素技術偏重
- ITをうまく活用できていない
- 技術の移転がうまく出来ない
- 迅速かつ適切な経営判断の欠如
- 自前主義と縦割り制度が依然として強く、オープンイノベーションに関心が薄い

産業政策からの視点

- 国際標準化への対策の遅れ
- ソフトウェアの競争力の欠如
- システム産業の欠如
- 研究開発費配分における要素技術偏重
- サービス産業の生産性の低さへの対策の遅れ（中小企業対策）

システム化が遅れた背景

根源的な要因

- 現場力への過信
- ITの捉え方の歪み
- タテ割りが支配的な日本の組織と文化
- 人材の流動性の乏しさ
- 暗黙知の支配

制度的な要因

- システム産業振興策
- 国際展開施策
- システム化技術振興策
- 研究開発施策

技術的な要因

- システム・イノベーション
- アーキテクチャ
- 大規模複雑システムの運営論理
- 形式知化
- システム化技術体系化

システムを創成する新たな手法の構築

多様かつ広い視点からシステムアーキテクチャを捉え、 システムを創成する新たな方法論の構築と提案

制度・体制層
(社会の制度や政治・経済体制)

システム企画フェーズにおける
設計方法論

システムアーキテクチャの設計

サービス・システム運用層
(製品やコンテンツを組み合わせたサービスの運用)

製品・作物・作品層
(一般利用者が直接購入し利用する対象)

製造技術・生産技術・設計技術層
(自然法則を利用した新しい技術の確立)

自然法則・自然現象層
(自然界に内在する原理や法則の発見)

What to Make を支援

システム要求の創成

- ・ ビックデータを活用した要求の抽出支援, 市場の生成支援
- ・ 要求モデル論の構築と一般化

How to Make を支援

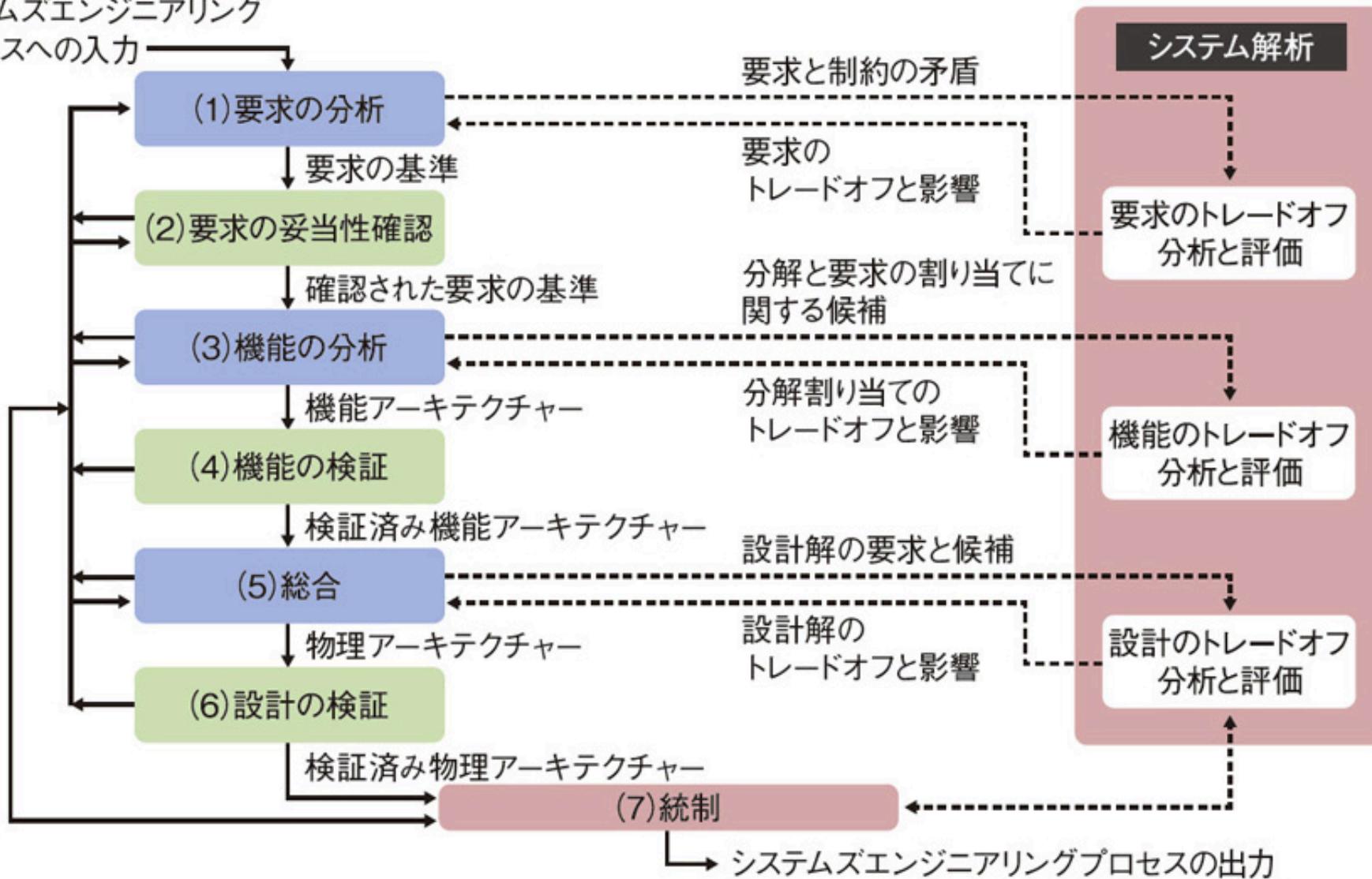
システムアーキテクチャ・モデル論の構築と一般化

- ・ 理想的なシステムアーキテクチャの提案支援
- ・ 設計・製造知識データを活用

社会や産業の5階層モデル 安浦寛人, “日本の情報通信技術(ICT)の研究開発の方向に関する提言”
SLRC Discussion Paper Series, Vol.5, No.1, Sep. 2009

システムズエンジニアリングプロセス(IEEE 1220-2005)

システムズエンジニアリング
プロセスへの入力



出典: <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/MAG/20150114/398782/?ST=SCR>

アーキテクチャとアーキテクチャ設計

アーキテクチャ

- システムの目的を最大化するような機能と特性の配置
- 構成要素の設計や進化を左右するような、構成要素の構造、構成要素間の関係、そして原理や指針

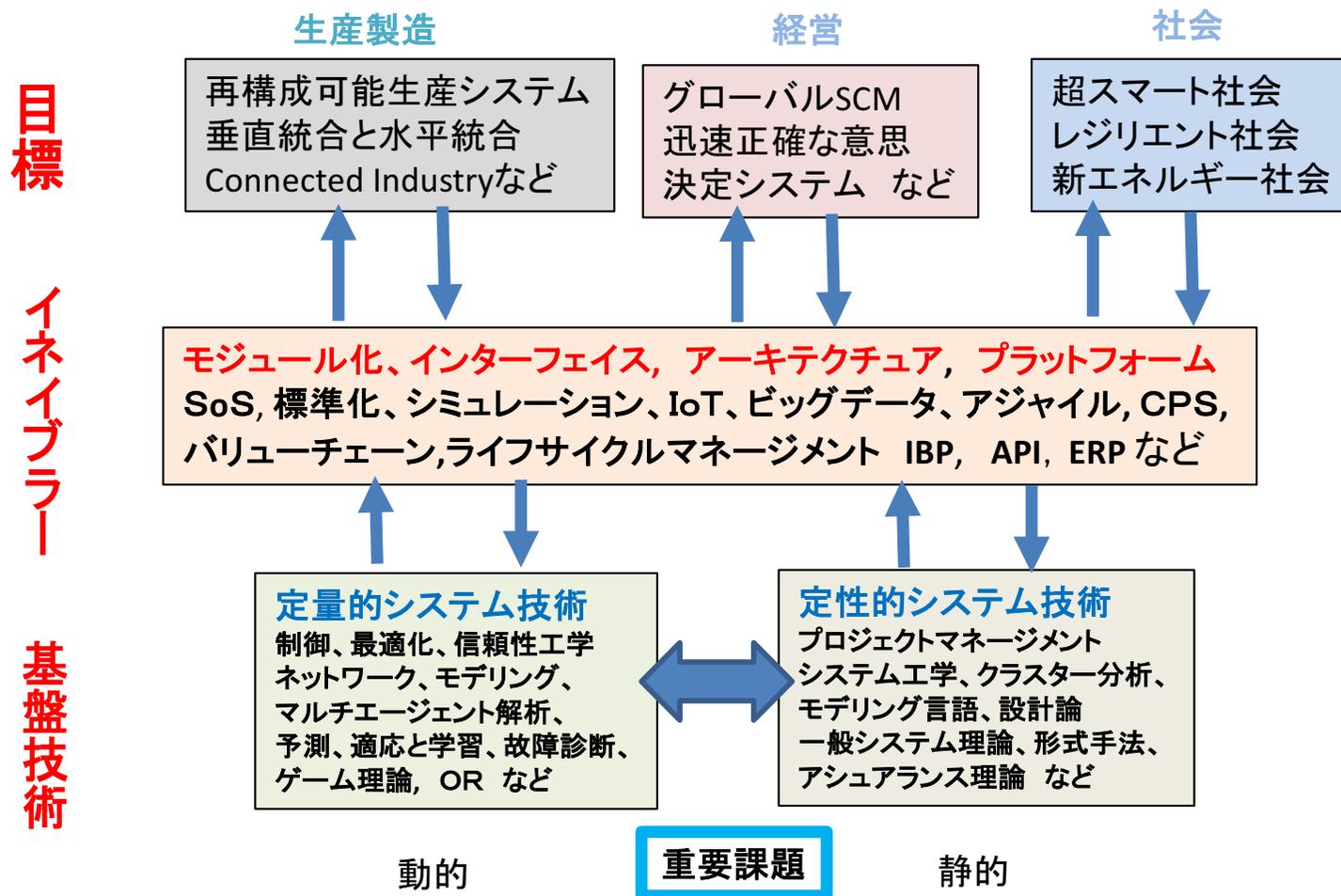
アーキテクチャ設計（アーキテクティング）

- システムに要求されている機能・性能を、システムを構成する要素に配分して構成要素の仕様を明確にするとともに、構成要素間のインタフェースを明確化すること
- 設計のアウトプット
 - 各サブシステムに対する機能の配分結果
 - サブシステム間のインタフェース

アーキテクチャ設計プロセス

- 機能設計：システムの要求機能を分割し、その機能を構成する下位機能の集合に置きかえる設計
- 物理設計：分割された下位機能を、システムを構成する要素に割り付ける設計

システム科学技術の概念図



第4次産業革命とシステム化委員会 委員名簿

氏名		所属・肩書
木村 英紀	主査	早稲田大学理工学術院 招聘研究教授、理化学研究所BSI-トヨタ連携センター研究アドバイザー
藤野 直明	副主査	(株)野村総合研究所 産業ITイノベーション事業本部付兼コンサルティング事業本部 主席研究員
船橋 誠壽	//	北陸先端科学技術大学院大学 シニアプロフェッサー、横幹連合副会長
青山 和浩	委員	東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻教授
貝原 俊也	//	神戸大学大学院 システム情報学研究科副研究科長・教授、3Dスマートものづくり研究センター長
黒江 康明	//	京都工芸繊維大学 教授
佐藤 桂樹	//	トヨタ自動車(株)未来創生センター未来開拓室 産官学連携グループ担当課長
寺野 隆雄	//	東京工業大学情報理工学院情報工学系 教授
徳増 伸二	//	経済産業省製造産業局参事官 デジタル化・産業システム担当
西村 秀和	//	慶応義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科教授
松本 隆明	//	独立行政法人情報処理推進機構 技術本部ソフトウェア高信頼化センター長
水上 潔	//	ロボット革命イニシアティブ協議会 IoTによる製造ビジネス変革WG主査 日立製作所より出向
安藤 尚貴	オブザーバ	経済産業省製造産業局課長補佐
久保 忠伴	//	独立行政法人情報処理推進機構 技術本部ソフトウェア高信頼化センター 調査役企画担当
小宮 昌人	//	(株)野村総合研究所 グローバル製造業コンサルティング部
並木 正美	事務局	横断型基幹科学技術研究団体連合事務局長

報告書目次

<p>1章 はじめに</p> <p>2章 イノベーションを駆動するシステム化</p> <p>2-1 システム化とは</p> <p>2-2 システム思考</p> <p>2-3 システム化は技術の進歩のバロメータ</p> <p>2-4 システム化とIT</p> <p>2-5 よいシステムとは</p> <p>2-6 システム科学技術の現状と展望</p>	<p>6章 システム化に関する海外先進事例</p> <p>6-1 インダストリ4.0にみる産業政策としてのモジュール構造設計の戦略性</p> <p>6-2 科学技術政策・イノベーション推進のためのシステムズアプローチ(米国科学財団の工学研究センターERCの成功)</p> <p>6-3 巨大で複雑な製品設計・生産システムにおけるSysMLによるモデル記述と人材育成</p> <p>6-4 海外製造業にみる製造業務ノウハウの標準化の取組</p> <p>6-5 流通領域におけるシステム化の動向</p> <p>6-6 国際輸送におけるシステム化の動向</p> <p>6-7 土木・建設プロジェクトにおけるシステム・アプローチの例</p> <p>6-8 経営意思決定機構のシステム化(欧米企業での導入が進むIBP)</p> <p>6-9 戦略的な標準化機構</p>
<p>3章 システム化革命としての第4次産業革命</p> <p>3-1 CPS(サイバー・フィジカル・システム)</p> <p>3-2 統合度の高い三つの分業体制</p> <p>3-3 代表的なIoT企業であるGE社の考え方とインダストリ4.0との考え方の類似性</p>	<p>7章 システム化を推進強化するための施策提言</p> <p>7-1 システム化施策におけるシステム科学技術の活用</p> <p>7-2 システム技術とITの分化と融合</p> <p>7-3 システム化のための人材育成</p> <p>7-4 人材交流の促進</p> <p>7-5 システム化を柱に据えた研究プロジェクトの実施</p> <p>7-6 標準化活動の活性化</p> <p>7-7 統合知システム研究所の設置</p> <p>7-8 システム化推進センターの設置</p>
<p>4章 システム化の遅れに起因する日本の弱点</p> <p>4-1 企業経営の視点から</p> <p>4-2 産業政策からの視点</p>	
<p>5章 システム化が遅れた背景</p> <p>5-1 根源的な要因</p> <p>5-2 制度的な要因</p> <p>5-3 技術的な要因</p>	

第4次産業革命における「知」のシステム化対応の実態調査 ～Connected Industry とSociety 5.0 の実現に向けて～

委託元: 経済産業省製造産業局 ものづくり政策審議室
委託先: 特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合

統合知システム研究所

- 科学技術の成果を社会に実装するにはシステム化が不可欠である。この課題を解決する**研究機関が必要**である。アメリカのERCはこの点を認識して整備された研究開発組織である。
- 日本でもシステム化を担う研究組織が必要である。**システム研究は海外では活発化**している。日本にはシステム科学技術を研究する独立した組織は存在しない。システム化を支援する政府資金援助の窓口もない。
 - アメリカには幾つかの大学にシステムの研究所、さらに「**第5の権力**」とも呼ばれている**シンクタンク**がある。またNSFにはシステム科学の独立部門が設置され、豊富な研究資金がシステム科学技術の研究に投じられている。
 - ドイツではフランホーファー研究機構の中にシステムの研究を柱にしていると思われる研究所が幾つかある。
 - イギリスやフランスにもシステム研究をミッションとしていると思われる研究組織が散見される。
 - 中国には科学アカデミーにシステム科学研究所が設置され、システム科学の研究と同時に政府と連携した経済計画の立案や分析を行っている。
- 「統合知システム研究所」は科学技術推進機構研究開発戦略センターの中で計画され、その後学術会議の総合工学委員会の下に設置された「**知の統合分科会**」で検討された。
 - **当該計画の実現を強く期待する**。システム化の研究は、学術的な研究とシステム構築の現実的な経験の蓄積が必要であるため組織構造の設計には十分な配慮が不可欠である。
- システム化の研究は多様な分野のシナジーが必要なので、領域の統合とそれを結実させるための制度的な保障を行う必要がある。日本では人材の流動性が乏しいので、研究所を人材流動の場とすることが望ましい。このためには**クロスアポイントメント制度の活用が鍵**である。
- 当該研究所がvirtualなNetwork of Excellenceとして、大学が研究所にハブを設置して発足することも考えられる。ハブを受け入れ可能な大学として、東京大学システム創成学専攻がある。

システム化推進センターの設置

- 様々な政策提言はばらばらに実施されるのではなく、互いに連携して「システムとして」統合的に遂行されることが望ましい。
- 日本のシステム化を推進する司令塔として「システム化推進センター」の設置を提案する。主要な機能を下記に示す。
- システム化推進センターの主要機能
 - システム化力強化のための長期的なビジョンの確立
 - システムに関わる国際標準化活動の統合的推進
 - システム化を推進する人材の育成に関わる政策立案と実行
 - 「現場力の強さ」の調査と分析
 - システムの視点からの第4次産業革命の詳細分析と情報提供
 - システム化を推進するプロジェクトの企画
 - システム産業育成策の策定と実施
- センターの設置形態については今後検討を進めるが、官民が協力した形での実現が望まれる。

パネルディスカッション

- **モデレータ**
 - **青山 和浩** 東京大学 システム創成学専攻 教授
- **パネリスト：**
 - **水上 潔** 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
 - **藤野 直明** (株)野村総合研究所 主席研究員
 - **寺野 隆雄** 東京工業大学 情報理工学院 情報工学系 教授
 - **松本 隆明** 独立行政法人 情報処理推進機構
ソフトウェア高信頼化センター所長
 - **徳増 伸二** 経済産業省 製造産業局 参事官

ディスカッションの内容

1. **現代社会の認識：システム化のニーズ**
 2. **日本の特徴と限界：システム化の課題**
 3. **変革のための人材育成：システム化の実現**
- **システム化を実現するシステム力（りょく）とは**
 - **システム思考の必要性**
 - **System の最適化と System of Systems (SoS) の最適化**
 - **これからの時代に要求される思考とは？**
-
- **キーワード**
 - **擦り合わせ と システム化**
 - **部分最適 と 全体最適**
 - **ボトムアップ と トップダウン**