

Industrie 4.0 と日本の 産業の課題

木村 英紀

早稲田大学招聘研究教授

2015/12/9 RIETI BBL セミナー

内容

- Industrie 4.0をどうみるか
継続と飛躍
- 日本の産業界の課題
- 海外比較とシステム科学技術の振興

Industrie 4.0 をどうみるか

- 製造業におけるオートメーションの極限的 pursuit (制御技術)
- [ユビキタス計算論 + ネットワーク] の製造業に特化した実現 (IoT)
- 製造業における価値創造の新しい姿を本格的に追及
- 中小企業、労働組合まで含めたオールドドイツの体制構築
- 「ポストIT」の展望: <ITからシステムへ>

第4次産業革命

- 一次・・・蒸気機関と紡績機による革命(18世紀中葉)
- 二次・・・電気、通信による革命(19世紀末)
- 三次・・・ITによる革命(1970～1990年代)
- 四次・・・CPS、IoT? システム化革命(2000～)

オートメーションの極限を追求する「4.0」

オートメーションは製造現場における技術革新の大きな動機であった。
省力・生産性向上・品質向上の決め手。

歴史のスケッチ

- 1960年代後半に本格的に始まる。「**計算機**の出力が**工場**のバルブを動かした！」(英国IC、Direct Digital Control=(IoTの始まり)1952)
- オフィス、ラボラトリー、ホームへ拡大。
- ロボット導入によって**フレキシブルオートメーション**が実現(1980年代前半)。
- オートメーションの智能化が進む(例:「お利口洗濯機」など智能化家電)。
- 無人工場の実現(Ex. 照明なしのファナックのロボット製造工場)
- 自動運転の実現
- **部品や部材が自らの加工や組み立てを周囲の状況を判断して能動的自律的に生産機械に要求**(Industrie 4.0)

オートメーションはシステム化・広域化・統合化をよぶ自然傾向がある。「4.0」はその傾向に積極的に呼応。

- 業種業界国籍を超えたプラットフォームのオープン化と規格化、モジュール化(IMSはその先駆)
- 製品のライフサイクル全体を通じた価値連鎖の確立(CIM、CALSはその先駆)

その結果可能になること

- カスタムメイドの極限までの推進(例:自動車は完全な受注生産を目指す)

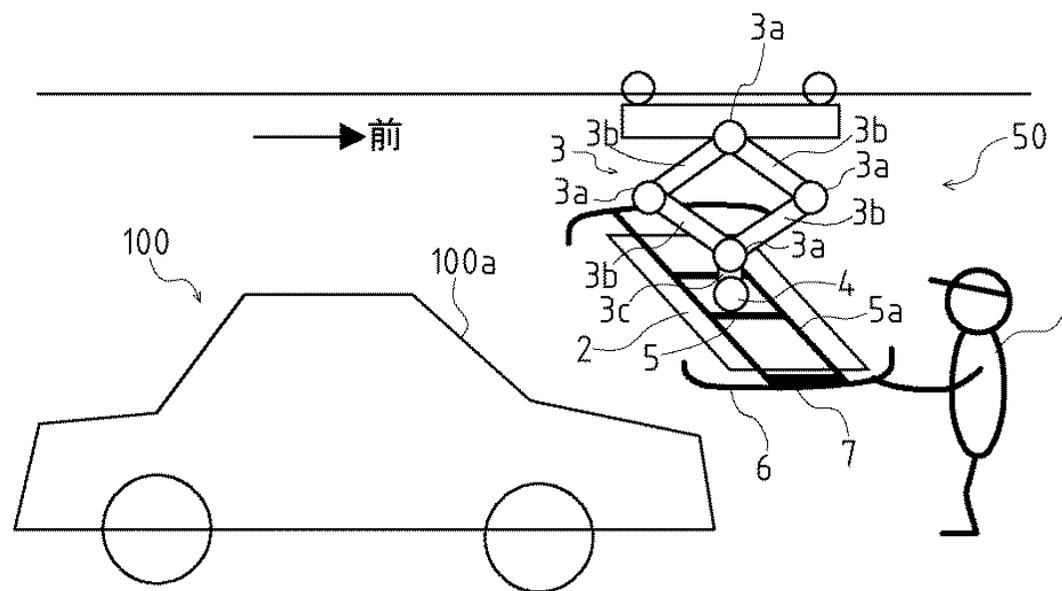
ユビキタス計算論(社会論)

2000~2007 日本の製造業を席卷

- いつどこでも何とでも交信できる社会
- 多くの企業で研究開発が進む
代表例: μ チップ(128ビットのメモリーと5メートルまで届く発信能力を持つ米粒大のチップ)
- 「やおろずプロジェクト」・・・製造業を超えて幻想に拡散
- ICカードとして部分的に結実
- まさにIoTのさきがけであった。

ひとつの開発経験 自動車の窓枠はめ込み作業の半自動化

ロボットに作業をさせるには、自動車の位置とコンベイヤ速度の精度を上げる必要が生じた。これはライン全体におよぶ開発課題となった。もし車体側にセンサーと発信機がありロボットに自分の位置を伝えることが出来れば、その必要はない。



Industrie4.0 の8つの優先活動領域

- Open Architectureの標準化と標準
- 複雑なシステムのマネジメント
- 包括的な広帯域通信インフラの産業界への提供
- 安全と安心 (security)
- 新しい労働の組織とその設計
- 継続的な能力開発と訓練
- 法的な整備
- 資源の効果的な使用

IT関連はひとつだけ

なぜ「ポストIT」か？

○研究開発の8つの主要柱にIT関連は唯一つ

○終わりつつある第三次産業革命はIT主導

- 計算機の制約(速度や記憶容量、コストなど)を気にしなくてよくなった。
- コスト面、性能面での計算前後のセンシング、アクチュエーションの比重が大きくなった。
- 「ソリューション」「アナリティクス」などで使うツールでは計算機の知識はまったく不要
- ビッグデータから価値を抽出する作業は、学習理論、統計解析、制御理論、計算社会学、モデリング、最適化など情報技術以外の学術に大きく依存する。
- 問題を解決するにはIT技術とはちがう資質が必要
- CPS (Cyber Physical Systems)の強調

必要とされる科学技術

- 部品や部材と製造装置の区別がなくなる。巨大な生産システム、機構を対象(モデル化と解析の)にしなければならない。
- 「システムの問題」がこれまで以上に顕著となる。Industrie 4.0の標準化に次ぐ柱となる技術課題として「複雑なシステムの管理運用」が挙げられている。
- ハードウェアの集積が果たして可能か？
- セキュリティの保証
- ITからシステムへ

IoTプラットフォームとは何か

システムをつなぎ合わせてより大きなシステム(System of systems=SoS)を作り上げるための仕事場
アーキテクチャ設計、インターフェイスその標準化、相互運用可能性(Interoperability)

SoS(統合システム、システムの統合)とは何か

- (1) システムの一種である
- (2) システムを要素としてもち、各要素はそれぞれ独立した機能と自律的な活動機構を持つ
- (3) SoSとしての全体機能を果たしている間も各構成要素システムはその自律的な活動を行う

SoSの例

○ 電力負荷のピーク時に水道供給圧を下げられるか？

電力システムと水道運用システムのSoS

○ 航空機の開発サイクルに合わせた旅客運行整備システム

航空会社の運行整備システムと航空機メーカーの開発システムのSoS

○ 災害における高齢者、入院患者のケアの問題

防災システムと医療介護システムのSoS

リマーク

日本で「システムエンジニア」といえば「ソフトウェアシステムエンジニア」を意味する。このような国は他にない。

日本では最適化、モデリング、予測、データ(画像音声を含む)解析、センサーやアクチュエータ、システム設計、意思決定問題などはITに属すると考えられている。このような国は他にない。

日本に突然の情報工学ブームが起こった60年代末、日本の各大学に大量の情報関連学科ができたが、計算機の専門化が極端に不足したため計算機を使う分野は何でも情報関連学として教育しようということになったのがその一因

ITといえば予算がつく？

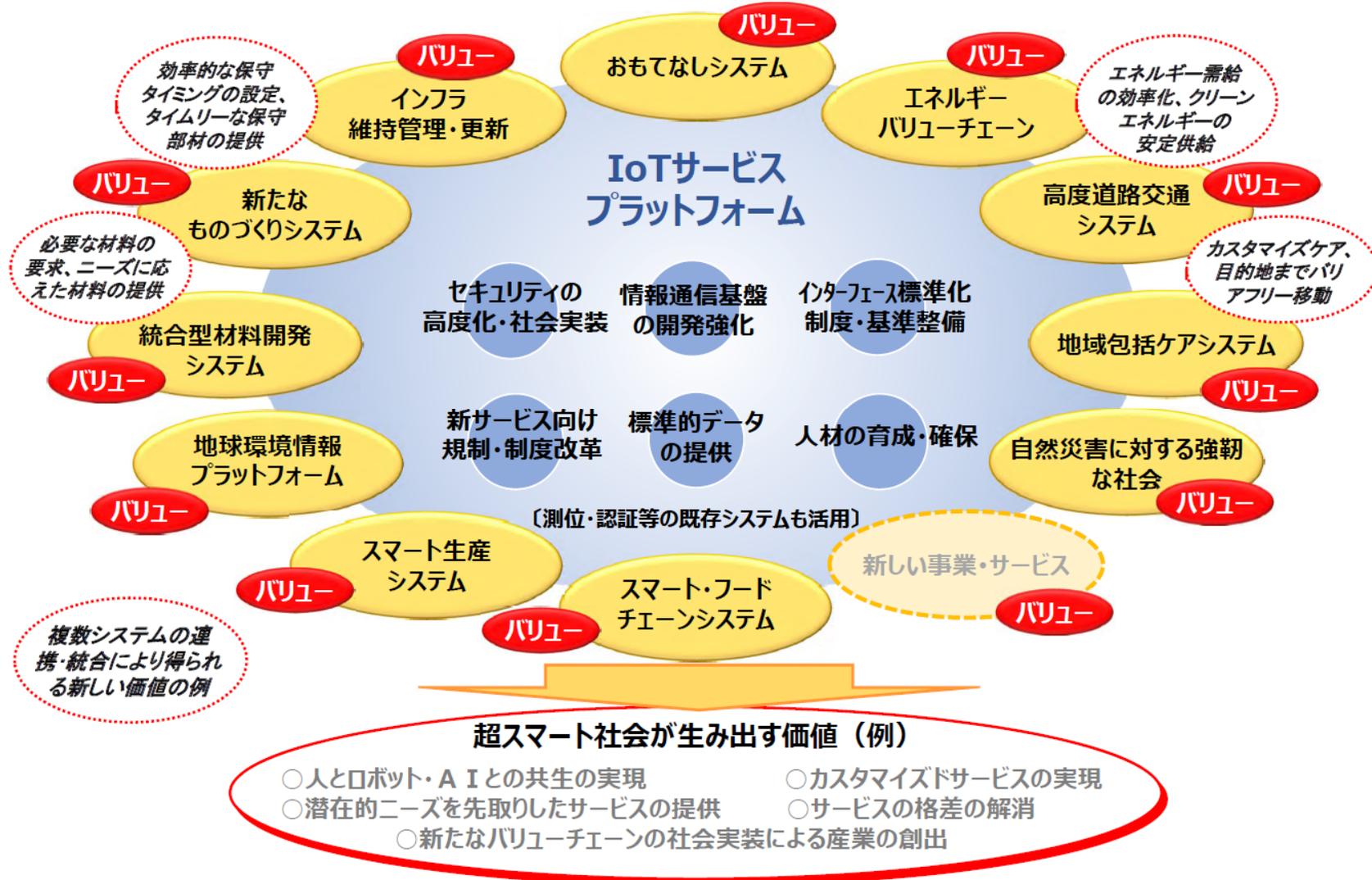
ITは重要な分野で将来性もある。しかし他の分野にとってはあくまでもツール(大変強力な)である。システム構築もモデリングも予測も、計算機が生まれる以前からあった研究対象である。ツールを入り口とする問題設定、課題設定は、プロジェクトの推進仮定でひずみを生みやすい。

第5期科学技術基本計画でも「統合化システム」の重要性は強調されている。「中間取りまとめ」4章2

我が国は個別の製品や要素技術で強みを持つものの、それらを組み合わせ、統合したシステムとしてデザインする力が十分ではなく、その強みを生かし切れていないとも指摘されている。将来に向けて、我が国が新たな価値を生み出していくためには、「壁」を超えて幅広いステークホルダーが集結し、我が国が強みを有する研究や技術を活かし、要素技術にとどまらず、サービスや事業連鎖の全体として価値を提供する「システム」を構想し、バリューネットワークを構築し、価値を創出するアプローチが重要となる。このため、統合的で効率的な「超スマート社会」システムの形成に向けて、個別の技術の高度化を進め、サービスや事業の「システム化」に取り組むとともに、それらを更に統合化する先導的なプロジェクトに産学官の連携により取り組む。

システムの連携協調と創出される新しい価値のイメージ

(参考1)



ますます巨大化複雑化するシステムをうまく構築することは難しい

よいシステムとは

- 最大数のステークホルダー、ユーザの期待を満足させる。
- 信頼性が高い。
- 持続可能性とロバスト性、レジリエンス性を備えている。
- 運用・保守が容易。
- コストがかかり過ぎない。
- そのためには
- モデリング、最適化、ネットワークング、制御、学習適応、予測、信号処理、ソフトウェア工学、信頼性など広範な理論のサポートが必要

内容

- Industrie 4.0をどうみるか
継続と飛躍
- 日本の産業界の課題
- 海外比較とシステム科学技術の振興

世界の巨大企業は「システム」をコアコンピテンスとするシステム産業と言ってよい。

- 水、石油メジャー、巨大スーパーマーケットなどは垂直統合が進化した結果、巨大複雑なシステムの設計、構築、運用の能力で生きている。
- システム化力が業態・業容の拡大のキー、ヒューマンウェアとの接点拡大
- Siemensはヨーロッパ最大のオートメーション企業、SAPはエンタープライズ系ソフトの最大ベンダー。
- データの分析、モデルの構築と解析、意思決定の最適化、社会・市場予測、複雑系の制御などにはシステム科学をベースとした高度な数理的な能力が必要。
- Bechtel (広域広義ゼネコン)ではシステム科学技術のコアである制御技術者の給与が全米平均より16%高い。
- ハニウェルの研究所には数学の博士号を持つ数十人の研究者集団があった(1985年に木村が訪問した時)。

日本の産業の特徴例

- ハード製品では全方位的に強い技術力をもつ産業が存在
- 日本が国際シェア優位な分野は市場規模の小さい分野が多く、市場規模の大きい完成品分野では自動車以外ではシェアが少ない。
- システム産業が未成熟。「ソリューション」はほぼソフトウェアに限られる（システム技術をコアコンピデンスとしてビジネスを行う会社が少ない。）
- ソフトウェア力が弱い。
- 「国際標準化」が欧米に比較して後れを取っている。

システム産業・企業

- 部品や材料、機能製品を組み合わせてシステムとして構築し、あるいはそれらハード技術と全体システムとして最適な機能を発揮するためのソフトウェア技術とを組み合わせ、付加価値の大きなシステムとして構築し、産業連関的にも、社会的・経済的にも大きな価値を生み出すシステムを、生産する産業。
- 個別業種企業を糾合して全体システムの構想を練り上げ、プロジェクトとして提案する能力を持つ企業。
- システム科学技術の豊富な人材リソースをもち、各企業のシステム構築に関するコンサルテーションの出来る企業。

日本企業の世界シェア構造と要素技術偏重

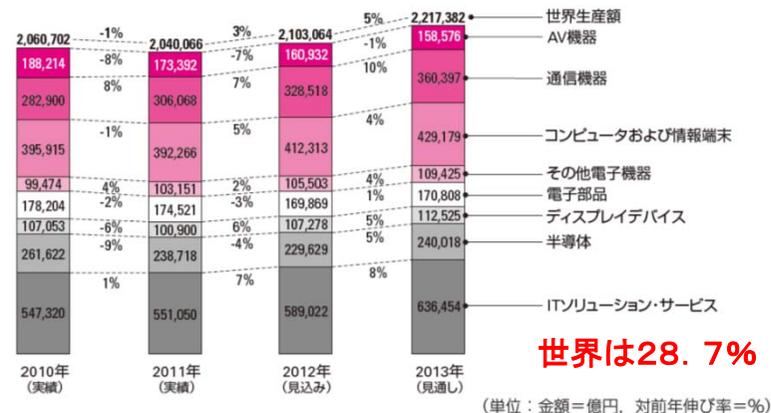
ソフトウェアについて

- ソフトウェア技術貿易収支は2000年代初めではおよそ1対100の入超
- パッケージソフトの分野では日本製のハイエンド製品はほとんど存在しない。
- 電子情報分野で占めるソフトウェアビジネスの市場規模は日本は海外に比べて圧倒的に小さい。
- 製造業の企業内ソフトウェア技術者の比率は欧米に比べて極めて小さい。

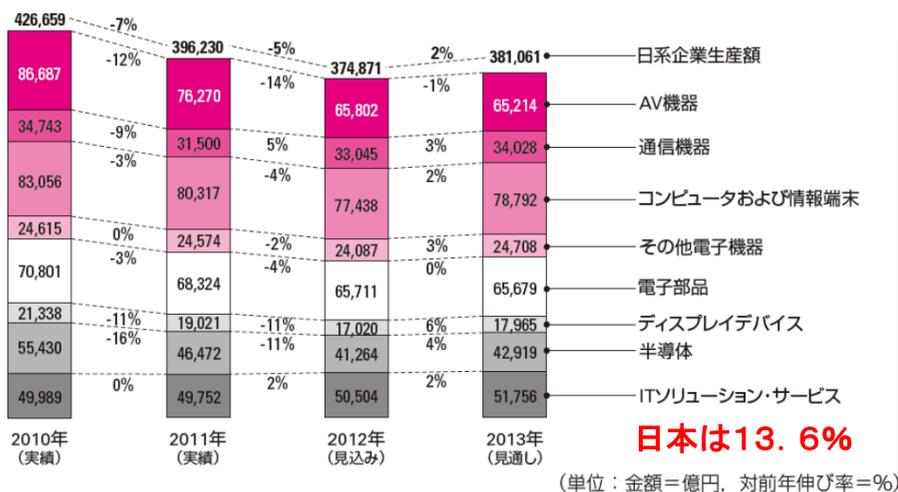
電子情報産業におけるシステム構築(含むソフトウェア)の低い比重

世界の電子情報産業ではシステム部分と見なされるITソリューションサービスの占める割合が高く、電子デバイス部分の電子部品、ディスプレイ、半導体が低い。

■電子情報産業の世界生産額推移

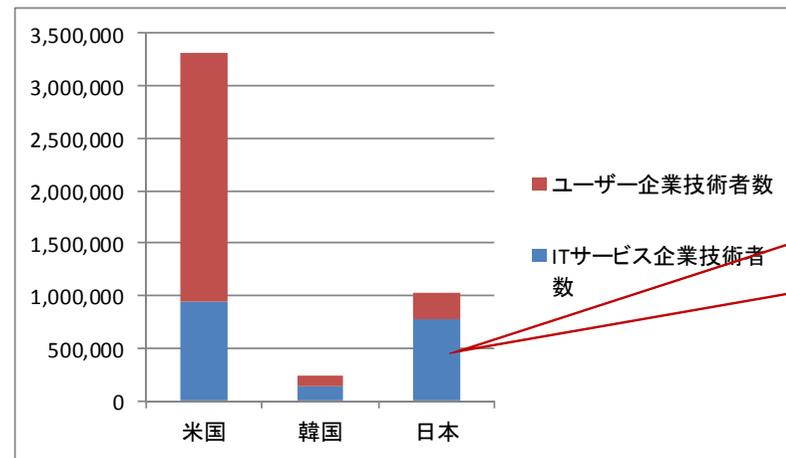


■日系企業の生産額推移



	世界	日本	日本シェア
AV機器	7.2%	17.1%	41.1%
通信機器	16.3%	8.9%	9.4%
コンピュータ及び情報端末	19.4%	20.7%	18.4%
その他電子機器	4.9%	6.5%	22.6%
電子部品	7.7%	17.2%	38.5%
ディスプレイデバイス	5.1%	4.7%	15.9%
半導体	10.8%	11.3%	17.9%
ITソリューションサービス	28.7%	13.6%	8.1%

ソリューション技術者の所在： 各国の技術者数



日本ではITソリューション技術者の3/4がITサービス企業に勤務。ユーザー企業に勤務する技術者が非常に少ない。ユーザーのシステム取りまとめ能力が低い。

	米国	韓国	日本
ITサービス企業技術者数	941,410	128,000	771,426
ユーザー企業技術者数	2,362,300	104,732	254,721
合計	3,303,710	232,732	1,026,147

出展：各国統計資料（米国労働省、労働統計局）

グローバル化を支えるIT人材確保・育成施策に関する調査（IPA）より抜粋

わが国のプロジェクトは 「分割受注」が実態

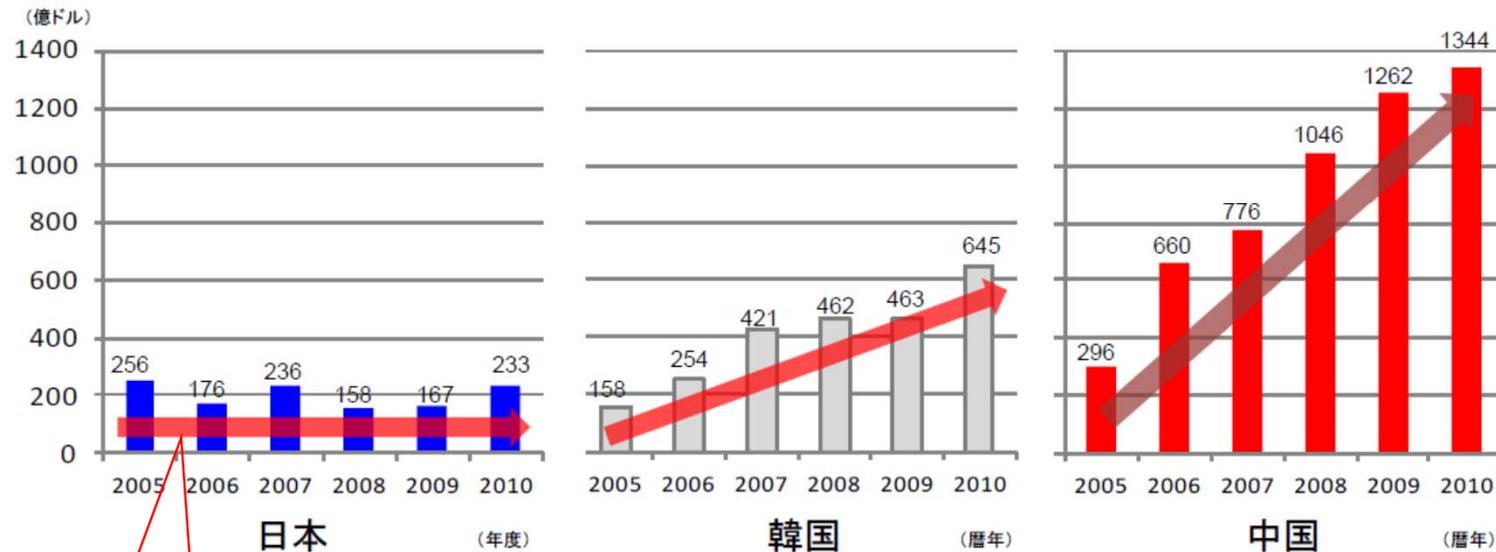
- わが国のメーカーは個別の技術力は高いが、「システム統合技術力」は総じて低い。
- わが国のエネルギー、交通、生活環境(上下水道、廃棄物処理)、情報通信等のインフラ運用については国、地方公共団体または地域別独占民間企業で運営されている。
- メーカーはリスクを取るのを嫌う。

- わが国のインフラ設備の入札は運用側が行うため設備ごとの入札が多く、パッケージで「丸ごと」の入札は稀である。(海外では少ない)
- わが国のメーカーの研究開発は短期的に成果が出る「コンポーネント」が主体で「システム」研究が少ない。
- わが国のメーカーは得意または実績のある設備に特化しがちである。

わが国ではインフラ設備のプロジェクトでは「分割受注」実態である。

日韓中の海外インフラ受注実績推移(2005～2010年)

- 2005～2010年の間、日本の海外インフラ受注は200億ドル/年前後。
- 同期間中、韓国は158億ドルから645億ドル、中国は296億ドルから1344億ドルに拡大。(それぞれ約4倍)
- ※ただし、統計上、中国の受注額にのみ建築工事等を含み、グラフ上は高めの値となっている



システム化技術を
武器に右肩上がり
にする必要がある。

出典: 日本機械輸出組合
「プラント・エンジニアリング(PE)輸出多角化支援調査」
「2010年度 海外プラント・エンジニアリング成約実績調査 報告書」

「産業構造審議会 貿易経済協力分科会 第2回インフラ・システム輸出部会」資料 2012年4月

世界の主要エンジニアリング会社の概要

	日揮	千代田化工建設	東洋エンジニアリング	KBR	Bechtel
本社	日本・横浜	日本・横浜	日本・東京	米国・ヒューストン	米国・サンフランシスコ
設立	1928年	1948年	1961年	1901年(2007年ハリバートンから分離)	1898年
企業概要	LNGプラントに強みを持つ専門エンジニアリング会社。	LNGプラントに強みを持つ専門エンジニアリング会社。	肥料など石油化学プラントに強みを持つ専門エンジニアリング会社。	インフラ、鉱物、石油ガス防衛、政府、交通など幅広い業界で事業を展開。石油ガス分野に強みを持つ。	建設・建築、石油ガス、価額、鉄鋼プラントのエンジニアリング、調達、建設を営む総合建設会社。
売上高	4472億円	2471億円	1557億円	8969億円	2.4兆円
受注高	6182億円	2353億円	2225億円	—	1.8兆円
受注残高	1兆1896億円	4976億円	2246億円	—	—
純利益	255億円	80億円	38億円	2.9億円	—

	Saipem	サムスンエンジニアリング	現代建設	GS建設
本社	イタリア・ミラノ	韓国・ソウル	韓国・ソウル	韓国・ソウル
設立	1969年(イタリア国営石油会社エニから独立)	1970年	1947年	1947年
企業概要	石油ガスなどオンショア・オフショア施設・掘削施設的设计・施工。	石油ガス、化学、発電、衣料品の各種プラント的设计	土木・港湾建設、建築、都市開発、発電プラント等の设计、調達、建設。	プラント设计、施工、プラントメンテナンス、建設。
売上高	1.3兆円	4139億円	8122億円	6169億円
受注高	1.5兆円	7263億円	—	4529億円(プラント部門)
受注残高	—	—	—	—
純利益	978億円	259億円	414億円	317億円

日本のトップである日揮の売上高は現代建設の55%。

(注)表中の売上高等については2010年の計数。
出典: ENNvol.273 WORLD CONTRACTORS DATA BOOK 2011

「産業構造審議会 貿易経済協力分科会 第2回インフラ・システム輸出部会」資料 2012年4月

インフラ企業の意見

- 弊社は主として水関連事業であるが、欧米メジャーと比べると総合力で圧倒的な力の差を感じて来た。水関連の総合プロジェクトは、受注以前にそもそも提案できる企業が日本にはない。
- 弊社の事業品目が「システム構築」であると意識したことはこれまでなかった。言われるとその通りで、その視点から見ると様々な事が分かって来た。(目からうろこ?)
- 個々の技術で欧米に後れを取っているとは思わないが、技術をまとめ上げてビジネスに誘導する力の不足は言われる通りである。システム化の力の差と言われればその通りかも知れない。
- 弊社の若い技術者(土木出身)をアメリカの大学に送って最適化の学位を取らせたが、帰国後社内各所で引っ張りだこになった。この種の技術領域(システム科学技術と言ってよい)も必要であることを痛感した。

(中堅技術者3名からのヒヤリング)

システムに関する国際標準

- ISO・IES/JTC1 で検討
- ソフトウェアに関する標準である
ISO・IES 12207の拡張
- ISO・IES 15288として公布(JISX107)
- 日本はJISA(情報サービス産業協会)、情報処理学会が対応
- システム関連の企業認証制度CMMIも欧米では浸透中、発注条件に繰り入れられる傾向

ISO/IEC 12207

- ソフトウェアの購入者、提供者、開発者、保守者、操作者、技術者に共通の概念を提供して相互のコミュニケーションを円滑にする。
- 23種のプロセス、95種の活動、325のタスク、224の成果を定義
- プロセス診断モデルを対象とするISO/IEC 15504 に発展、ソフトウェアを超える可能性
- 日本の窓

ISO・IEC15288

- 12207を一般のシステムへ拡張(2002)
- 対象領域---航空・宇宙・造船・輸送・軍事・通信・財行政
- 現在はほとんどのシステム領域をカバー
- ライフサイクルを定式化
- 日本の窓口は12207と同じJISA、情報処理学界、海外は非ソフトウェアの技術者が多い
- 日本適合性認定協会、JAPICの対応は不明
- 現在のIEC会長は日本人

産業界の課題まとめ(1)

- Industrie4. 0の技術的なコアはシステム構築である。
- 「システム構築」の技術力でわが国の産業技術は大きく後れを取っている。
- インフラ輸出でわが国は欧米のみならず、中国、韓国にも後れを取っているのはそのひとつの表れである。
- 「システム科学技術」はシステム構築の基盤技術である。
- わが国の「システム」に関する「国際標準化」の取組みは後れを取っている。

産業界の課題まとめ(2)



- システム構築のための基盤技術であるシステム科学技術を強化育成する必要がある(人材育成も含めて)。
- システム技術をコアコンピテンスとする企業(業界)を作り出す必要がある。
(欧米の「メジャー」はシステムをコアコンピテンスとしている)
- わが国の「システム」に関する「国際標準化」の体制構築を行う必要がある。
- インフラパッケージ輸出拡大のための官民挙げての体制構築で、「システム」にもっと注目する必要がある。

内容

- Industrie 4.0をどうみるか
継続と飛躍
- 日本の産業界の課題
- 海外比較とシステム科学技術の振興

海外におけるシステム科学技術

- ①システム科学技術の研究テーマへの研究の助成
- ②システム科学技術に関する主要な研究組織

米国

- ①NSTC(国家科学技術会議)、NSF(国立科学財団)、DARPA(国防高等研究計画局)等、
- ②MIT、ボストン大学、サンタフェ研究所、等

中国

- ①国家自然科学基金委員会、科学技術部、他の国務院組成部門(省に相当)、地方政府
- ②中国科学院数学・システム科学研究院システム科学研究所、
※システム科学(系統科学)は数学や計算機科学技術などとならんで学位科目

欧州

- ①欧州委員会(FP7、Future ICTプロジェクト)、フランス国立研究機構(ANR)
- ②IIASA(国際応用分析システム研究所)、フラウンホーファー協会システム・イノベーション研究所(ドイツ)

海外におけるシステム科学技術振興策の例

- EC Horizon 2020に「Global Systems Sciences」が採用された。逆に「Future IT」は採用されなかった。
- アメリカではNSFの研究公募領域に新しく「Systems Sciences」が設置された。この領域は個別システムに依存しない、システム一般の純粋研究に資金を提供する。
- アメリカNSFが最近「System of Systems」の研究資金を創設
- CPS研究にNSFは資金を増額
- 中国は科学院に巨大なシステム科学研究所がある。

ヨーロッパ

- イギリス Institute for Complex Systems Simulation (ICSS)
- フランス 国立情報学自動制御研究所
- ドイツ
 - Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems (240名)
 - Max Planck Institute for Dynamics and Self Organization (268名)
 - Fraunhofer Institute of Systems and Innovation Research (240名)
- 共通 応用システム研究所

日本ではシステムの研究組織は現状では存在しない

- 統計数理研究所にモデリング部門
- 情報学研究所にごく一部

「統合知システム研究所」構想 (JST・CRDS「システム科学技術研究推進会議」)

1. システム科学研究の深化と統合

システム構築の基盤となるシステム科学および関連する基礎科学の研究を行う。システム理論、モデリング、機械学習、最適化、制御、予測、ゲームと意思決定、システム構築方法論、ネットワーク、複雑系、サービスシステム、社会システム、価値システムなどのシステム関連の諸学術研究が互いに連携することにより深化させるとともに、人文・社会科学も含めたシステム構築にかかわる新しい学問領域を創出する。

2. システム構築の価値認識と評価

インフラ、防災、医療、エネルギー、農業、環境、年金など様々な応用分野における持続的なシステム構築の原理的な諸問題を解明し、それらを通してメタレベルのシステム構築の方法論を開発し、それを体現したプラットフォームを構築進化させる。システムの社会実装を視野に入れたテストベッドの作成も必要に応じて行う。

3. システムの実装・運用・保守の体系の確立

現在進行中および計画中の産学官のプロジェクトの担当者、担当組織と共同で当該プロジェクトをシステム化の視点で捉え、それらの間の共通性や互換性の発掘を通してプロジェクトの有効性を高める。併せて、システム科学技術の標準化問題にも対応する。

研究所の構成

●システム科学研究部

価値システム, サービスシステム, システム構築方法論, ネットワーク論, データサイエンス, モデリング・予測, システム理論。

●統合化システム研究部

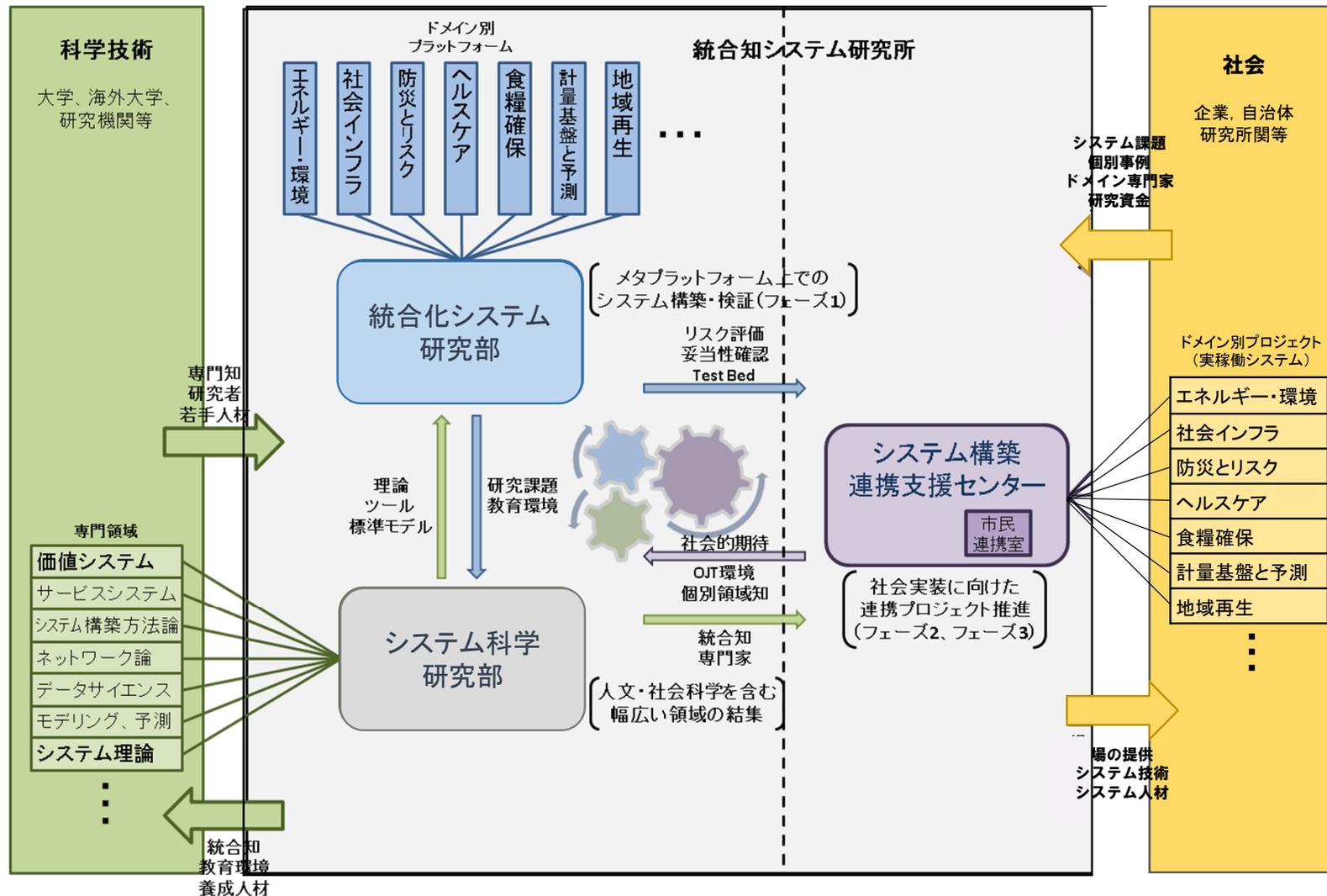
メタプラットフォーム上でのシステム構築・検証(ドメイン: エネルギー・環境, 社会インフラ, 防災とリスク, ヘルスケア, 食糧確保, 計量基盤と予測, 地域再生)。

●システム構築連携支援センター

社会実装に向けた連携プロジェクト推進。

- 科学技術分野および社会と交流しつつ, 3つのユニットが知識発展のスパイラルを実現することが重要
- 設置形態:
 - ネットワーク型研究体制
 - クロスアポイントメントの活用

「統合知システム研究所」構想（組織・役割）



ご清聴有難うございました。