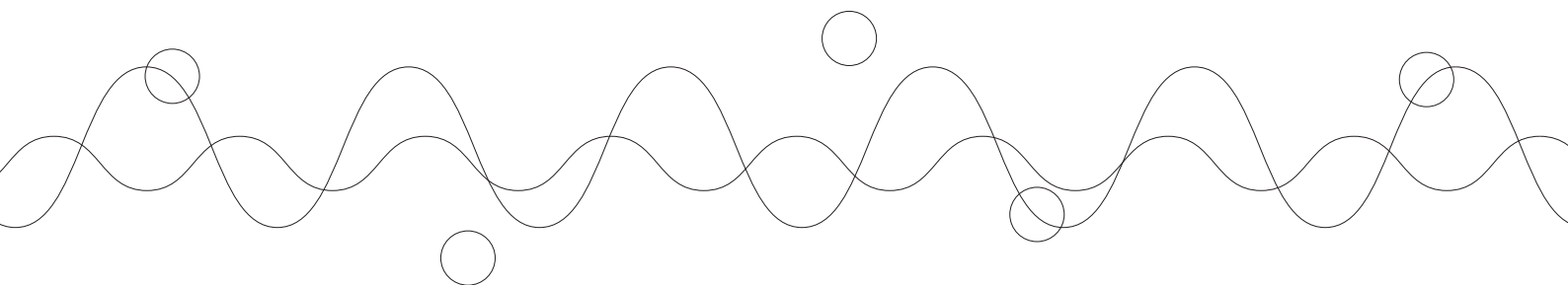


**科学技術国際シンポジウム報告書**  
**イノベーションを牽引するシステム科学技術**  
**～日米中の動向に学ぶ～**

平成26年2月21日（金）開催



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

## はじめに

独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）のシステム科学ユニットは日本の科学技術政策が重点分野推進から課題解決に方向転換するに伴って 2009 年に発足した。発足当時「システム科学」は JST のほとんどの関係者にとって耳慣れない分野名であり、実際それまでこの分野に対する競争的資金の投入はほとんど皆無の状態であり、その意味でわれわれのユニットの活動はゼロから出発しなければならなかった。実際われわれがシステム科学技術の重要性を JST 内外で説いても手応えを感じる場合は少なく、時には「なぜシステム科学のようなユニットが CRDS で必要かわからない」という感想を面と向かってぶつけてくる JST の担当者も少なくなかった。その様な状態の中で我々は 2010 年に「システム構築による重要課題の解決」と題した戦略提言を発刊してその存在感を世に問い、システム科学技術推進委員会を組織してシステム科学技術の現代的な展開の道を探った。これらの活動の詳細については「プログレスレポート:システム構築型イノベーションの重要性とその実現に向けて」(CRDS-FY2013-XR-03)を参照されたい。

最近ようやくシステム化の重要性は国内外に浸透し、その結果日本の科学技術はシステム科学技術への投資が不十分であり、日本の産業技術はシステム化のフラグシップが弱いことが認識され始めてきた。われわれの主張はようやく聞く耳が現れる環境に恵まれ始めたといえる。

一方、これまでの海外調査から、米国や中国ではシステム思考が社会に浸透しており、システム科学技術の教育やシステム思考の活用が行き届いている現状が認識され、また、国内の産業界、学术界の方々との意見交換により国内における問題意識も表出されてきた。この情報を政策立案にかかわる有識者を含め、広く一般の方々と共有するとともに、海外より米国 NSF の工学局長、中国科学院システム科学研究所の前所長を招いて、日本のシステム化の現状と課題について議論し、理解を深める場として科学技術国際シンポジウム「イノベーションを牽引するシステム科学技術 ～日米中の動向に学ぶ～」を平成 26 年 2 月に開催した。その内容をここに報告する。

科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
システム科学ユニット



## 目 次

### はじめに

1 . 開催概要 .....	1
1-1 . 開催趣旨 .....	1
1-2 . 概要 .....	1
1-3 . プログラム .....	2
1-4 . 講演者略歴 .....	3
2 . 基調講演要旨 .....	6
2-1 . Pramod P. Khargonekar 氏講演 .....	6
2-2 . Lei Guo 氏講演 .....	7
2-3 . 吉川弘之氏講演 .....	8
3 . パネルディスカッション要旨 .....	9
3-1 . パネリストからの話題提供 .....	9
3-2 . パネルディスカッション .....	11
3-3 . 議論のまとめ .....	14
4 . 来場者アンケートの結果 .....	16

### 付録1

### 付録2





## 1．開催概要

### 1－1．開催趣旨

私たちは、高度にシステム化された製品に囲まれ、インフラをはじめとする様々な社会システムに支えられて生きている。科学技術の研究成果の社会実装はシステム構築によって達成される場合も多い。まさに現代は「システムの時代」である。そのため、システム設計で鍵となる柔軟なシステム思考とシステム構築で求められる分野横断的なシステム科学技術のレベル向上の必要性が高まってきている。しかし、要素技術偏重の日本ではこの分野の重要性が十分に認識されていない。本シンポジウムでは、システム技術が研究開発を主導している米国と、システム科学が重視され科学技術の主役を演じている中国の実情を、それぞれの政策を推進する当事者から学び、それを踏まえて、日本におけるシステム構築を通じたイノベーション実現のための課題とその方策を探る。

### 1－2．概要

名 称：「イノベーションを牽引するシステム科学技術 ～日米中の動向に学ぶ～」

日 時：平成 26 年 2 月 21 日（金）13：00～17：30

会 場：ベルサール飯田橋駅前ホール（東京都千代田区飯田橋 3-8-5）

主 催：科学技術振興機構（J S T）研究開発戦略センター（C R D S）

後 援：文部科学省、横断型基幹科学技術研究団体連合、  
日本工学アカデミー、計測自動制御学会

参加費：無 料

参加者：281 名



## 1 - 3 . プログラム

### 13 : 00～13 : 20 開会挨拶

主催者挨拶      中村 道治      科学技術振興機構（JST）理事長  
来賓ご挨拶      原山 優子      総合科学技術会議常勤議員  
                    山脇 良雄      文部科学省大臣官房審議官  
                    （代理） 安藤 慶明      研究振興局基礎研究振興課課長

### 13 : 20～15 : 20 第 1 部：基調講演

**Pramod P. Khargonekar**      米国 NSF 工学部門局長  
                    「Systems Science and Engineering: An NSF Perspective」  
**Lei Guo**      中国科学院院士、中国科学院数学・システム科学研究院前院長  
                    中国科学院国家数学・学際科学センター長  
                    「Systems Science in China」  
**吉川 弘之**      JST 研究開発戦略センター長  
                    「システム科学技術とイノベーション」

### 15 : 20～15 : 40 （休 憩）

### 15 : 40～17 : 25 第 2 部：パネル討論

                    「日本再興に向けたシステム構築と社会実装 ～課題と展望～」  
（冒頭発表）

**有本 建男**      JST 研究開発戦略センター副センター長、政策大学院大学教授  
                    （コーディネータより）「背景と議論のポイント」  
**木村 英紀**      JST 研究開発戦略センター上席フェロー、東京大学名誉教授  
                    「システム構築型イノベーション」  
**藤野 陽三**      東京大学大学院工学系研究科総合研究機構 特任教授  
                    「インフラストラクチャのマネジメントシステム」  
**松本 隆明**      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所長  
                    「安心・安全な社会を支えるソフトウェアシステムの構築へ」  
**鮫嶋 茂稔**      日立製作所 横浜研究所 社会インフラシステム研究部部長  
                    「社会インフラシステム開発の事例と課題」  
**藤田 政之**      東京工業大学大学院理工学研究科教授、CREST 研究総括  
                    「CREST 研究領域の新たな試み」

### 17 : 25～17 : 30 閉会挨拶

**有本 建男**      JST 研究開発戦略センター副センター長

（司会：岡山 純子      JST 研究開発戦略センター フェロー）

## 1 - 4 . 講演者略歴

### **Pramod P. Khargonekar**

#### **全米科学財団（NSF）工学部門局長**

1981 年フロリダ大学より Ph.D を取得。フロリダ大学、ミネソタ大学、ミシガン大学での教職を経て、2001 年にフロリダ大学工学部長。2012-2013 年 ARPA-E の技術担当局長。2013 年 3 月より現職。NSF で 8 億ドルの予算を取り仕切る。主な研究分野はシステムと制御理論、機械学習、スマートグリッド及び神経工学の応用。Web of Science の“Highly Cited Researcher”に選出。NSF Presidential Young Investigators Award、Donald Eckman Award (American Automatic Control Council)、IEEE CSS George Axelby Award 等、数々の賞を受賞。



### **Lei Guo (郭 雷)**

#### **中国科学院院士**

#### **中国科学院国家数学・学際科学センター長**

1987 年中国科学院より博士号（制御理論）を取得。オーストラリア国立大学でのポスドク研究員を経て、1992 年から中国科学院システム科学研究所の教授。1999-2002 年同研究所所長、2002-2012 年中国科学院数学・システム科学研究院長を歴任。その間、2001 年に 39 歳の若さで中国科学院院士に選出され話題となる。1998 年に IEEE Fellow、2002 年に TWAS Fellow、2007 年に国際自動制御連盟 IFAC Fellow、スウェーデン工学アカデミー外国人会員に選出。主な研究内容は、適応制御、システム同定、適応信号処理、時系列分析等の他、近年ではマルチエージェントシステム、複雑適応系、量子制御システム等にも関心が深い。現在、中国工業・応用数学学会理事長、中国自動化学会副理事長、他、多くの公職を兼務。



### **吉川 弘之**

#### **独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター長**

工学博士。一般設計学、構成の一般理論を研究。それに基づく設計教育、国際産学協同研究（IMS）を実施。東京大学教授、同総長、放送大学長、産業技術総合研究所理事長を経て、現職。その間、日本学術会議会長、日本学術振興会会長、国際科学技術会議（ICSU）会長、国際生産加工アカデミー（CIRP）会長などを務める。主な著書は、「本格研究」（東京大学出版会、2009）、「科学者の新しい役割」（岩波書店、2002）、「テクノグローブ」（工業調査会、1996）、「テクノロジーと教育のゆくえ」（岩波書店、2001）、「ロボットと人間」（日本放送出版協会、1985）など。



### 藤野 陽三

東京大学 大学院工学系研究科 総合研究機構 特任教授 / 東大名誉教授

1972 年東京大学工学部土木工学科卒業、1976 年ウォータール大学工学部博士課程修了 (Ph.D.)。東京大学地震研究所、筑波大学構造工学系、東京大学工学部土木工学科教授を経て、2013 年より現職。米国土木学会 Scanlan Medal、世界橋梁管理学会 T.Y.Lin Medal を受賞。2007 年春に紫綬褒章を受章。専門は構造工学一般。レインボーブリッジなど国内外多数の大型橋梁の計画、設計、耐震補強に参画。近年はインフラのモニタリングやインフラマネジメントを研究。



### 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 所長

1978 年日本電信電話公社 (現 NTT) に入社、一貫して IT システムの開発に従事。その後 (株) NTT データ技術開発本部長、NTT データ先端技術 (株) 常務取締役を経て、2012 年 7 月より現職。博士 (工学)。



### 鮫嶋 茂稔

日立製作所 横浜研究所 社会インフラシステム研究部 部長

1993 年 (株) 日立製作所入社。同社にて、電力、交通、産業などの社会インフラ分野を対象とした自律分散情報制御システムの研究と実用化に従事。博士 (情報理工学)。



### 藤田 政之

東京工業大学大学院 理工学研究科 機械制御システム専攻 教授

/ CREST 研究総括

1984 年早稲田大学大学院理工学研究科修了後、金沢大学、北陸先端科学技術大学院大学を経て、2005 年東京工業大学教授。IEEE CSS Vice President、IEEE MSC General Chair、計測自動制御学会 (SICE) 理事、同制御部門長などを歴任。IEEE Trans. CST 最優秀論文賞、SICE 論文賞、SICE 教育貢献賞、SICE フェローなどを受賞。



有本 建男

政策研究大学院大学 教授

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 副センター長

1974 年京都大学大学院理学研究科修士課程修了、科学技術庁入庁。文部科学省科学技術・学術政策局長、内閣府経済社会総合研究所総括政策研究官を経て、2006 年から JST 社会技術研究開発センター長、研究開発戦略センター副センター長。2012 年から現職。長年実務者として科学技術基本計画などの政策策定に参画。近年は、科学的知識の「社会実装」を目標に、対話と協働による新しい課題解決型研究ファンディング制度の開発に尽力。



木村 英紀

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー

東京大学名誉教授

東京大学大学院工学系博士課程修了。大阪大学基礎工学部および同工学部教授、東京大学大学院工学系教授を歴任。理化学研究所生物制御研究室チームリーダー、同 B S I トヨタ連携研究センター長。IEEE フェロー、IEEE CSS George Axelby Award、IFAC Giorgio Quazza medal など受賞多数。





## 2 . 基調講演要旨

### 2 - 1 . Pramod P. Khargonekar 氏講演

#### 「Systems Science and Engineering: An NSF Perspective」

##### ●NSF について

- ・ NSF 創立時に制定された NSF Act には、科学の進歩と国民の健康、社会福祉に貢献することが義務付けられている。NSF Act は今日でも NSF の中で生きている。
- ・ NSF Engineering 部門には、社会への恩恵（Societal benefits）につながるイノベーションを促進するためのトランスフォーマティブな研究及び教育に投資するという使命がある。実際は、大部分の投資は研究に対して行われており、一部分が教育、さらに少ない部分を実用化へのトランスフォーメーションに対して向けられている。部門予算は 2000 年の 2.4 億ドルから 2013 年には 8 億ドルに合理的に伸びている。
- ・ 英語「system」には非常に多くの意味があり、原理、プロセス、方法など複数の概念の意味でも使われる。例えば、通信ネットワークがあり、膨大な数の部品から構成される B787 航空機もシステムであり、エネルギーや水、インフラストラクチャなどは人工物と自然が一緒になったシステムである。

##### ●NSF Engineering 部門におけるシステム

- ・ NSF ではどのような「システム」に取り組んでいるかということ、少なくとも Engineering 部門では全てにおいて「システム」は共通の強いテーマである。NSF が投資する研究プログラムには、システムを扱うものが複数ある（例示は付録を参照）。また、ファンディングの進め方や中身の設計においてもシステム思考が使われている。
- ・ 例えば、Engineering Research Center (ERC) のプログラムが良い例である。3-Plane Strategic Research Plan と呼ばれる 3 層からなるフレームワークが示されており、全ての ERC センターはこれに基づいて計画を立て、評価される。クリティカルなエンジニアリングシステムズのゴールを定めることから始め、その上で必要となる基礎研究や技術的な障壁を同定し、それから研究と教育を進めるための組織がつくられる。エンジニアリング的でないもの、いわゆる社会的、非技術的な要素も含まれる。1 センターに対し 10 年の期間でファンディングを行う。既にこの戦略的な推進方法に従って基礎研究からシステムレベルのゴールまで一貫通貫の研究開発が行われ、商品化に至った成果も出ている。
- ・ ERC の 3 層モデルの説明：最下層には基礎的な工学や科学の研究 Fundamental Research の要素が描かれ、中間層では Fundamental Research の結果を統合してできる新しい技術 Enabling Technologies が、最上層にはシステムレベルでのゴールが描かれる。ステークホルダ（ERC では主に産業界）と対話をしてゴールが立てられてから、技術の要求分析が行われ、開発研究や基礎研究における障壁も導出される。テストベッドがシステムの層にも、Enabling Technologies の層にも複数設けられているのは、そのためである。（例示された

プログラムについては、付録を参照)

### ●今後の展望

- ・ システムズエンジニアリングは既に幅広く行われているが、根幹となる包括的な理論 (overarching and encompassing theory) がまだ存在しない。しかし個別分野の理論なら複数存在する。今後、長い時間がかかるかもしれないが、すべきことは、これらの個別理論を包括的に統合していくことである。その理論構築の間に行うべきことは、経験からシステムの的に学ぶこと (systemize learning)。より複雑なシステムを構築する経験を蓄積することと、互いに (分野間で) 学びあうことは同時に可能であろうし、それによって理論の統合に向かう。

## 2 - 2 . Lei Guo 氏講演

### 「Systems Science in China」

#### ●中国科学院 システム科学研究所 (ISS) について

- ・ システム科学、数学とその関係学際領域の研究中心拠点である。大学院以上の学生および若い研究者の教育拠点でもある。特筆すべきは、中国政府に対して研究者が経済・社会発展のためのコンサルを行っている点である。学術論文以外に、毎年 40 報程度のコンサルディングレポートを中国国務院に提出している。例として、国の穀物収穫予測や、国際貿易高の計算方法を提案し、実際に運用されている。

#### ●「中国システム工学会 (SESC)」について

- ・ 前述の ISS に本部が置かれており、1980 年に国のマネジメントレベルの強化を目的に、社会科学と自然科学のシステム研究者が一緒になって設立された。農業、軍事、交通、金融、教育、法律等 18 の分科会があり、10 の学術誌 (英語誌、中国語誌含む) を発行、26 の自治体に附属学会を設けている。
- ・ システム科学・システム工学(SS&SE)領域の発展を目的とした活動に、中国科技協会の支援による SS&SE 発展についての戦略的研究、教育部からの支援による中国における SS&SE 領域の調査分析、ハンドブックや学部/大学院用の教科書の執筆発刊がある。

#### ●Dr. Qian Xuesen (銭学森) について

- ・ 中国のミサイル開発や宇宙技術の父として著名な研究者であるが、1950 年代から長年にわたり、中国の SS&SE の発展を牽引した研究者である。当初の専門は力学・制御理論、1970-80 年頃からシステムエンジニアリング、1990 年以降晩年は意思決定など社会システムへと理論を拡大した。
- ・ 銭学森らの SS&SE は 1980 年代から中国の政治家に浸透している。例えば、2008 年に胡錦濤 (当時国家主席) が「銭学森のシステムエンジニアリング理論が自身の政治思想に繋がっている」と本人に伝えた場面が報道されている。習近平 (国家主席) も「包括的な構造改革の深化は複雑なシステムエンジニアリングである」としている。



- ・ 銭学森の考える現代科学技術には 11 の分野があり、そこでは、システム科学は自然科学、社会科学、数学、認知科学など同レベルで扱われる。
- ・ 中国では 1990 年に「システム科学」が、数学、物理学、化学等と同レベルの学問領域に認定されている。学位として、「システム科学」修士/博士がある。

#### ●今後の展望

- ・ 経済と社会の発展にシステム科学・工学は重要な役割を果たす。
- ・ 他の自然科学・工学領域とシステム科学・工学との連携は重要。互いの領域にとって有益である。国際協力も重要である。
- ・ 中国の中長期科学技術発展計画（2006-2020）において、国家戦略のために必要な基礎科学に、複雑系システム、災害構造、予測、制御が位置づけられている。
- ・ SS&SE 領域進展のためには、さらに多くの国際共同プロジェクトが必要である。また、若手研究者のためのサマースクール開校、政府機関職員や大企業のためのトレーニングプログラムも必要である。

## 2 - 3 . 吉川弘之氏講演

### 「システム科学技術とイノベーション」

- ・ 現在の科学は、デカルトの言う理解のための「分析と総合」のうち、「分析」ばかりに比重が置かれていて、「統合」の科学がない。未だに統合のための方法論が十分にできていない。
- ・ ニュートンやアインシュタインらのアブダクションによって科学は発展してきた。ニュートンらが法則と呼ばれるドグマを作り、後の科学者がその正しさを証明して科学が発展してきた。ただし、ドグマを作ることは簡単ことではない。エンジニアが行うデザインは、ドグマを作り出すことと同じ方法論をとる。その中にアブダクションという行為が入っている。エンジニアによって作られた仮説的な理論、ドグマ、ソリューションが社会に出て淘汰されて、良いイノベーションが残る。
- ・ あるものを寄せ集めてものをつくる人たち（ブリコリユール）と、分類して要素機能間の関係を最適化し構造化してものを作る人たち（エンジニア）がいる。イノベーションをするのはエンジニアの方。
- ・ 従来のディシプリンは可逆性が担保される範囲内でそれぞれが閉じている。可逆性のないものを扱おうとするとディシプリンになりにくい。しかし、それでもそのような科学を作るべきである。例えば、自動車工学ができたように。
- ・ パースの分類図において、物理科学的な科学（physical science）と現実社会の科学（psychical science）を一緒に扱う Metaphysics は、現代科学でいうとシステム科学になる。システムミック・セオリーができることによって、失われたディシプリン間の可逆性を回復することができる。と考える。
- ・ 科学者が個々の属するディシプリン内で満足してはイノベーションが生まれない。あらゆる分野を対象とし、イノベーションという難しい問題に勇敢に立ち向かっているのがシステム科学者。そういう意味で、バンドリング・サイエンスとしてのシステム科学もある。

## 3．パネルディスカッション要旨

### 3－1．パネリストからの話題提供

第2部パネルディスカッションのテーマは「日本再興に向けたシステム構築と社会実装～課題と展望～」である。討論に入る前に、コーディネータより本パネルディスカッションの背景と論点についての説明があり、日本の産業界、大学、公的機関の各方面から集まったパネリストの方々から、それぞれの分野におけるシステム構築の現状について話題提供が行われた。

#### ■有本建男氏（コーディネータ）冒頭説明「背景と議論のポイント」

- ・ 昨今、世界レベルの科学技術や経済政策を話し合う場で、イノベーションに関してサイエンスとテクノロジーのシステムについてもリシンキング(re-thinking)、リデザイン(re-design)をしないとイケないということが語られている。

#### ■木村英紀氏 講演「システム構築型イノベーション」

- ・ ヘーゲルの言葉「真なるものはシステムとしてのみ現実的である」から発想して、「科学技術の成果はシステムとしてのみ社会に実装される」と解釈をしたい。
- ・ 単に高度化、大規模化だけでなく、社会環境の急激な変化、複雑化、ステークホルダーの多様化などが相まって、今日のシステム構築は難しい。システムに関する専門知識と専門家が不可欠。プラットフォーム構築から始まる3フェーズによるシステム構築手順を提案している。
- ・ ICTとシステムを混同しないこと。両者を同一視したことにより、我が国に様々な混乱が乗じており、科学技術にもマイナスの影響を与えている。
- ・ システム化への求心力を吸収する行政的な責任母体が必要である。

#### ■藤野陽三氏 講演「インフラストラクチャのマネジメントシステム」

- ・ GDPが増えない中で、今後、社会インフラは新設よりも保全が大きな課題となる。
- ・ 橋など土木的な社会インフラは、それぞれ建設地、設計者、工事業者、使用条件など製造と利用の環境が個々に異なるので、橋ごとに性格が異なる。単品ごとの保全とならざるを得ない。
- ・ たった一つの橋でも、社会インフラのマネジメントは、技術と経済と政策と現場の統合になる。
- ・ インフラマネジメントのサイクルを回すためには、技術、資金、評価スケール、人、情報、制度の開発が必要である。
- ・ インフラの評価は、現状ではほとんどできていない。なぜならば、評価するには全てを知っている必要があるが、そのような人材がほとんどいない。
- ・ インフラに関わる各コミュニティ間の横のつながりが構築されていない。コミュニティごとに使う言葉が異なる。横串を指すためにはコミュニティ間の用語の通訳が必要である。

### ■松本隆明氏 講演「安心・安全な社会をさせるソフトウェアシステムの構築へ」

- ・ 近年のシステム障害の原因に見られる大きな特徴の2つは、ハード製品の故障でも内臓しているソフトウェアに起因していること、また、システム系の同じような原因が障害を引き起こしていることである。
- ・ ソフトウェアは社会システムそのものを実現することになるので、機能として曖昧になりがちである。また、機械的に作れるハードウェアと違い、人間が作らないといけないので、人の能力に大きく依存する。
- ・ そのためにシステムの設計技術の信頼性を向上させる必要がある。現状では、経営戦略、システム化計画や要件定義などシステム開発の上流工程において不十分なところが多い。例えば、形式手法を用いることで、曖昧さや不正確さを排除することができる。また、モデル指向開発（MBSE）では、コンポーネント間の関係と構造を見える化することができ、不具合を減らすことができる。
- ・ グローバルマーケットでは、高品質というこれまで培ってきたブランド力が品質保証の決め手にならない。第3者機関による品質の検証が必要である。（ソフトウェア高信頼化センターではその仕組み作りのためのガイドラインを提供している。）
- ・ 社会を支えるシステムの安全かつ安心の確保が重要。プロビジョニングができること、デペンダビリティとセキュリティを設計当初から作り込む枠組みが必要である。

### ■鮫嶋茂稔氏 講演「社会インフラシステム開発の事例と課題」

- ・ エネルギーマネジメント分野、上下水道事業、鉄道分野を例に、トータルソリューションのビジネスの行っている。納入する商品をシステムとして捉えて、現地に合わせてその捉える範囲、納める範囲を広げながら取り組んでいる。
- ・ どのようなシステムを構築するか、実装するか、については、クライアントの構造（現地の状況）が大きく効いてくる。クライアントや現地状況をきちんと前提条件として把握しておくことが重要である。

### ■藤田政之氏 「CREST 研究領域の新たな試み」

- ・ 「ものづくり」と「ことづくり」は、文化財と同様な視点で、有形と無形として両立できる。システム科学技術を「ことづくり」という無形の科学技術として捉えることができる。
- ・ CRESTのEMS(Energy Management System)領域では、研究期間を前半・後半に2分割し、その途中で研究チームを再編するステージゲート方式の運営を採用した。ファーストステージでは、研究テーマを中小規模にしてできるだけ多くの異なる分野を採択し、チーム間で競争とともに協調も推進している。相互の学会への行き来等を推奨したりして分野間の協調や融合を推進している。セカンドステージでは成果を出したチームを寄せ集め再編して、少数の「最強チーム」を形成する。こうして「融合展開」へとうまくつながっていくことを期待している。
- ・ 社会実装に向けては、エネルギーの供給側だけでなく、需要家、コミュニティや行政などいろいろなところへ施設見学調査に出かけて情報収集をしている。エネルギーマネジメントは技術だけでなく、市場や経済、政策や規制といった社会科学的な関与が多く、これらも含めてシステムとして捉えている。

## 3-2. パネルディスカッション

コーディネータ有本教授の司会により、以下の3つの論点でディスカッションが行われた。

1. システム設計で求められることは何か
2. システムの社会実装を阻むものは何か
3. システム構築と社会実装における人材の育成と確保  
(工学教育、ファンディング、産学連携等)

パネリスト及び会場から発言された主な意見は以下の通り。

### 藤野

- ・ システム理論で人間がどのようにモデル化されているか、について関心がある。実際のプロセスにはどの段階でも人間が関わるため。
- ・ 自分は技術と社会、自然との翻訳者みたいなことをずっとやってきた。若いころに違う分野の人と交流し、自分の仕事を他者に理解してもらう訓練をしておくことは大事。

### 松本

- ・ IT システムには科学がない、と実感した。直観とかノウハウ、勘で泥臭く開発、設計を進めている状態。エンジニアリングが少しずつ入っているが、サイエンスはほとんどない。
- ・ システム開発で最も難しいところは、ステークホルダーをまとめるところ。そこをサイエンティフィックにできるとよい。また、そこをできる人材、ある種のスーパーマンを育てる必要があるが、現実にはなかなか難しい。

### 鮫嶋

- ・ 「これまでのビジネスは単品売り切り」と言われることもあるが、単品であってもどの範囲をシステムとして捉えるかということが基本。クライアントに合わせて、納めるシステムが、発電機になることもあれば、発電プラントになることもあるし、さらにサポートまで含めたパッケージになることもある。マーケットや環境が変われば、システムとして捉える範囲も必然と変わる。
- ・ システムの構築や実装では、人に頼る面が非常に多い。人のシステム化、あるいは、フォーメーション(体制)も重要になってくる。

### 藤田

- ・ 大学の研究・教育では、問題そのものを発見する能力を鍛えることが重要である。大学では、ついつい問題が与えられた後の方法論をやりがちになっている。
- ・ 「これ以上先は証明されていて、どうしてもできない」という限界を意識して展開していくことが、イノベーションには大事である。
- ・ 例えば EMS の社会実装には、日本の中だけでも複数の省庁が関係している。社会実装には多くのステークホルダーが関わる。ステークホルダーを如何にまとめていくかが課題である。

### 木村

- ・ 「システム」という語は日常化している一方、科学技術のある種の革新も込められている。
- ・ システムは目に見えないがゆえに難しいとされるが、学生には、目に見えないものを見ようとする能力と意識を育んでもらいたい。

## 会場 1

- ・ 人の資質、人を人として育てる社会的な教育システムを、幼児教育の段階から作りあげる必要がある。

## 会場 2

- ・ 水の業界において日本は世界トップレベルの要素技術を生み出しているにもかかわらず、トータルシステムのビジネスでは欧州に勝てていない。一方、システムビジネスである原発プラントについては、日本企業 3 社が世界レベルで競争している。ビジネスでも研究開発でも日本がシステムに強くなっていくためには、産学官で協力して支援していくことが重要である。
- ・ サプライヤーサイドとユーザーサイドの両方に絡み、両方の面から理解していくと、良いシステムソリューションの提供につながる。

## 有本

- ・ システム教育に関連して、米国では、スタンフォード大学等のトップレベルの大学以外にも、思いっきりデザインをするという目的で小さい大学が設立されており、そこに優秀な人が集まっている。また、その仕組みがドバイやシンガポールなど海外に輸出もされている。
- ・ 日本の大学の工学教育については、7、8 年前に国際的機関から、デザインやシステム思考あるいはそれらのトレーニングが未熟だという評価がされている。

## 藤田

- ・ 日本における教育の取り組みとしては、文科省が近年推進している「リーディング大学院」がある。東工大では、少人数制へと戻る方法も行われており、答えが 1 つでない問題に対して皆でディスカッションして考えていくという訓練が行われている。

## 藤野

- ・ 東大の土木では 30 年前から英語教育を行っており、研究室に留学生がいるのは普通になっている。学生が、他国の同世代の人が考えていることについて、いろいろな形を通して知ることが教育では大事だと思う。

## 松本

- ・ (ソフト開発にサイエンスがないという発言に関連して、) ステークホルダーが多くなったこともあり、人間的な要素も含めて幅広くシステムを捉えて、システムのサイエンスを使って整理してからソフトウェア開発につなげることができるとよい。

## 鮫嶋

- ・ ダイバーシティのある社会への実装と人材育成は、まず経験を通して経験知を貯めることから始め、その中で人も育てながら、進めていくしかない。すぐに何でもできる人間ばかりではない。時間は掛かるがこの方法がある意味理想である。

## 会場 3

- ・ システムを作るときに最適解は 1 つとは限らない。まず、答えが複数あるという発想をしないといけない。これは、理系と文系の考え方のミクスチャーだと言える。

## 会場 4

- ・ 大学でシステムデザインを学んでいるが、様々な分野の授業があり、内容が広く浅いという印象がある。これで良いのか不安である。また、現状の人材教育は求めるものが多過ぎ



て、大学の教育時間では足りないのではないかと思います。

#### 会場 5

- ・ システムは、まず運用全体を見極めてから、システムの構造、プロセス、科学技術ができるのではないかな。
- ・ システムの中に、意思決定、リスク管理、あるいは統合的な判断基準やその原理を入れておく必要がある。
- ・ 社会システム構築では、ミクロとマクロの整合が必要である。

#### 藤田

- ・ 科学技術の限界を抜け出す方法の 1 つとして、異種を混合させる、ハイブリッド化あるいは分野融合がある。

#### Khargonekar（会場）

- ・ 米国の大学では、主に工学系の 4 年生を対象とした“capstone design project”という 1 年間の演習科目がある。異なる専攻分野の 4～6 人の学生がチームをつくり協働する。経済学や医学の学生が参加することもある。この演習の効果は極めて大きくで、卒業後に現実世界で働く際に必要な能力を体得できる。
- ・ 人材については、T 字型人材の育成もある。
- ・ 創造力(Creativity)は教育できると言われている。しかし、これは現状の工学教育で十分に行われていないことの 1 つである。創造力の教育ができれば、大きな発展につながる。
- ・ バンドリング・サイエンスという考え方は興味深い。1 つの分野の知識を別の分野で使えるようにすること、そのためのインターフェースを作ることが必要である。米国では、convergence という表現で同様のことが起こり始めている。

#### 有本、吉川

- ・ システム思考、システム構築を強化していくには、国家の意思が必要である。

### 3 - 3 . 議論のまとめ

パネルディスカッション、および基調講演の内容も含めて、本シンポジウムにおける議論から得られた知見を、論点 1~3 に従って下記の通りまとめた。

これらの知見を、今後の検討で活用し CRDS からの提案に反映したい。

#### 論点1 システム設計で求められることは何か

##### ■システム自体への要求

セキュリティ    ディペンダビリティ    信頼性    動作予測が可能  
自律性    Innovation ecosystem    System of systems

##### ■システム構築に求める資質

全体を見通す力(俯瞰能力)    協調性    現地に対する理解  
他分野融合    共通の関心を持つ領域横断型の研究チーム

##### ■システム構築方法の満たすべき条件

###### ・技術、経済、政策、社会の統合

例: 製造から運行管理/保守までのトータルエンジニアリング(日立)

###### ・リスク管理を視野に入れた意思決定

- あいまいな要素の見える化

- 変動する社会ニーズへの対応

- ステークホルダ間の調整

長期的視点

ミクロとマクロの整合

← 現地ニーズ調査

###### ・場の設定

例: ERC (Research) Strategic Framework (NSF, USA)

Design Space (Khargonekar 資料より)、Design Square (吉川資料より)

Discovery and Innovation    評価の枠組み

オープンでフレキシブルな研究領域の設定

###### ・システム構築とICT導入とは別物

## 論点2 システムの社会実装を阻むものは何か

### ■情報共有不足(社会制度の問題)

情報開示の範囲

縦割り組織

### ■選択・意思決定の難しさ

現地化の難しさ

多主体間の問題(ステークホルダ間の調整の難しさ)

唯一最適解の不在、評価基準の不在

第3者による品質保証が必要

### ■専門家の俯瞰範囲の狭さ

具体化と抽象化 / 有形と無形(ものごと) / ミクロとマクロ の乖離

研究から産業・社会実装に至るValue Chainの理解不足

### ■教育・学問の限界、近代科学の限界

例: エンジニアリングはあっても、サイエンスはない (ソフトウェア開発)  
経験知となって初めて語れる

## 論点3 システム構築と社会実装における人材の育成と確保(工学教育、ファンディング、産学連携等)

### ■学・産の課題

- Design Project(演習科目)の実施  
(米国では大学工学部の最終学年で実施)
- 産業界からのニーズ提示
- 幼児教育から資質を育てることが必要、大学教育だけでは不十分
- 専門分野としてシステム科学技術の教育に深みが必要

### 求める人材・能力

- 社会全体を見通す能力
- 創造性
- 問題発見能力
- 分野をこえたコミュニケーションをとれる通訳 (Boundary science)
- 明晰性、分析性、総合(統合)性
- T字型人材
- Social systems engineering
- Metaphysics

### ■政府の課題

- 研究ファンディングにおける(大学院生等の)人材育成の位置づけと評価  
例: NSFのEngineering Research Centers(ERC)
- 実施主体となるOrganizationが必要  
例: Institute of systems science (China),  
Directorate for Engineering(NSF/USA)
- 行政にシステム化の振興を担当する部署が必要



## 4．来場者アンケートの結果

本シンポジウム会場では、本シンポジウム開催の効果を測る来場者アンケートを行った。一般来場者 112 名から回答があり、貴重なご意見をいただいた。ここにアンケート回答の結果を一部抜粋して掲載する。アンケートにご回答いただいた方々には、この場を借りて御礼を申し上げます。

**質問：研究開発戦略センター（CRDS）のことをご存知でしたか？**

よく知っていた（活動に参加経験がある） 33（回答数）

活動内容を知っていた 24

名前は聞いたことがある 25

知らなかった 27

**質問：本シンポジウムに興味を持った動機は何ですか？**（複数回答可）

テーマに関心があったから 85（回答数）

関心のある講演者、パネリストがいたから 16

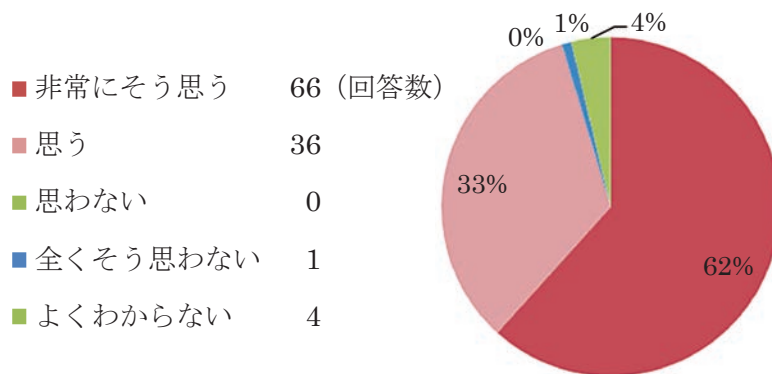
興味を引く講演内容だったから 20

業務や研究に役立つと思ったから 16

情報収集として 29

その他 0

**質問：日本の科学技術の推進のためにシステム科学の振興は重要だと思いますか？**



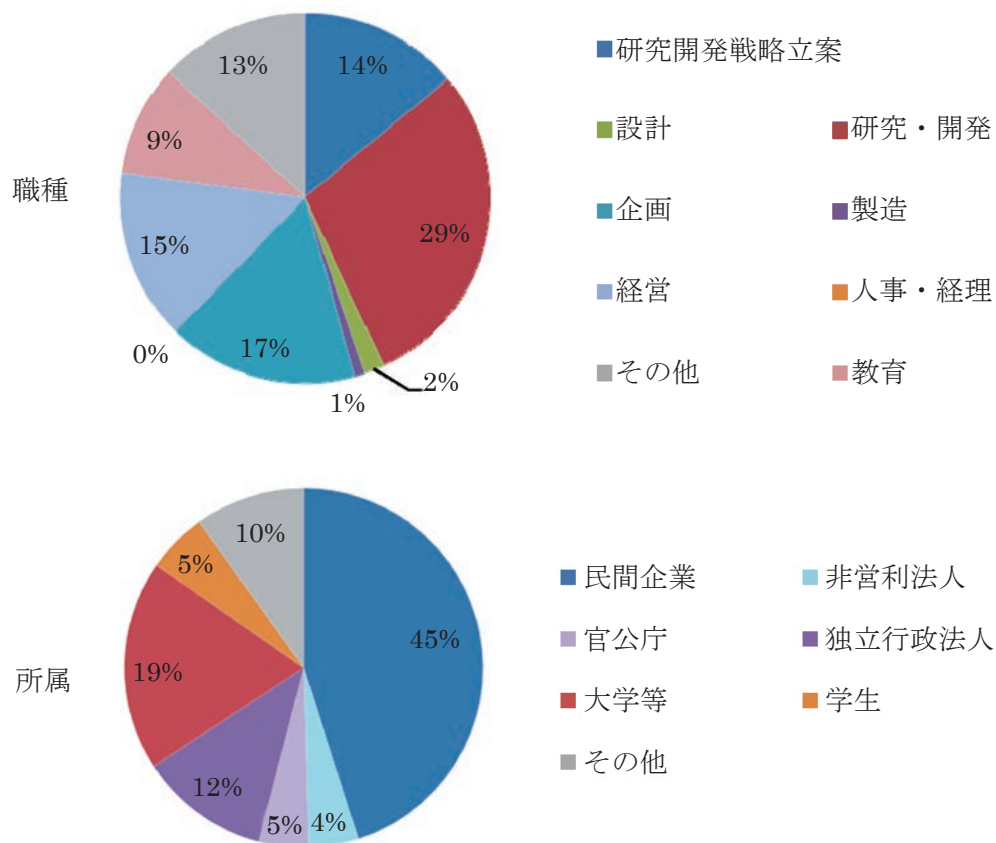
（理由）「非常にそう思う」の回答から

- ・技術がより良く社会に貢献していくために必要。技術者だけでなく、政府、一般国民にも考え方を理解する人材を増やしていくべき。
- ・日本における判断スピードの欠如には、分解分析思考に比べ、統合思考が不足していることが一因と考えている。統合のためのシステム科学の進展に期待している。

質問：本シンポジウム全般について、あるいは研究開発戦略センターの活動全般について、ご意見がありましたらお聞かせください。

- ・米・中・日の科学研究戦略の特徴が良くわかって良かった。国家レベルの科学政策にこそ、総合・統合科学としてのシステム科学の必要性があると実感した。
- ・今日のシンポジウムは"人材育成"についても大きく取り上げられていました。私も企業内研修に携わっている経験から、「システム思考」の大切さを日頃から感じていたところでは。事実をまず謙虚に受け止めて、そこから課題を見出して解決していくのに必要な思考力を養うには、小中高の学校教育のレベルから見直していくことが求められているように思われます。"模範解答"を安易に求める傾向があることには、将来の日本の競争力が低下していくことを示唆しているようで、危機感を覚えます。正解の無いものに挑戦し、妥協点・落としどころ（solution）を見出すことに遣り甲斐を感じる人が増えることが望めます。システムの"社会実装"を進める上で、こうした点にも留意して人材育成を促進（支援）して頂ければと存じます。
- ・研究開発プロセスをシステムの的に捉え、再構築して欲しい。
- ・専門的、広範囲な内容でしたが、こうした事柄が公開で行われる意義は大きいと思いました。日本も変わりつつあるのではないかと確信しました。

参考：アンケート回答者の属性





付録 1

科学技術国際シンポジウム  
イノベーションを牽引するシステム科学技術  
～日米中の動向に学ぶ～

講演録

開会挨拶：中村道治（独）科学技術振興機構 理事長 .....	付録 2
来賓挨拶：原山優子 総合科学技術会議 議員 .....	付録 3
来賓挨拶：安藤慶明 文部科学省研究振興局基礎研究振興課 課長 .....	付録 4
第 1 部 基調講演 .....	付録 6
Khargonekar 氏 基調講演 .....	付録 6
Guo 氏 基調講演 .....	付録 26
吉川弘之氏 基調講演 .....	付録 42
第 2 部 パネルディスカッション .....	付録 58
有本建男氏 講演（本セッションの冒頭説明） .....	付録 58
木村英紀氏 講演 .....	付録 61
藤野陽三氏 講演 .....	付録 67
松本隆明氏 講演 .....	付録 73
鮫嶋茂稔氏 講演 .....	付録 79
藤田政之氏 講演 .....	付録 81
ディスカッション .....	付録 86

## 開会挨拶： 中村道治 （独）科学技術振興機構 理事長

JSTの中村でございます。本日は大変お忙しいところ、このシンポジウムにご参加いただきましてありがとうございます。また、日頃から JST 関連のいろいろな活動にご理解とご協力をいただきまして、誠に感謝している次第でございます。高いところからではございますが、御礼を申し上げたいと思います。今日のシンポジウムは、研究開発戦略センター（CRDS）が企画し、主催していただいているものでございます。これからいろいろな意味での社会ニーズを充足して、あるいは社会ビジョンを実現していくという、日本にとっても世界にとっても非常に大きなテーマがあります。そのために、システムというものはどうあるべきか、ということをご一緒に考えようという機会でございますので、ぜひ活発なご議論、ご参加をお願いいたします。

CRDSの中には、センター長の吉川先生が2009年に、いろいろな研究成果を社会に実際に実装する、そのための研究というのはどうあるべきか、あるいは実際にその方法論はどうあるべきか、そういうところを横串的に考えるユニットとして、システム科学ユニット



を作りました。そのリーダーが木村英紀上席フェローでございます。JSTもいろいろな研究開発をサポートしておりますが、どちらかといいますとケミストリーとか、フィジックスとか、情報通信などの先端技術とかいうことに相成りまして、なかなか実際に大きな社会的な成果にもっていくというところでは歯がゆい思いをしていることがままあるわけでございます。

木村さんからは、日頃いつも私は叱られておりまして、システム研究を JST はどうしてもっとやらないのか、と言われております。今日はもうずっとここに座って勉強させていただいて、JST はどのようにこれからやるか、本当に自分でも考えてみたいと今日は思っているところでございます。でも、これは JST に限りませんで、日本の産業界を含めて今、1つの大きな弱点ではないかと考えているわけですし、今日参加していただいた中で半数は産業界からだと同っております。ぜひ、我々と一緒にいろいろ議論していただければありがたいと考えております。

今日は基調講演に NSF の工学部門長でおられます Khargonekar さん、中国科学院院士、前の中国科学院数学・システム科学研究院の院長をしておられました Guo さんにもお越しいただいて、吉川先生と3人での基調講演をあとで伺うことになっています。どうもありがとうございます。それでは、今日のシンポジウムが皆さん方にとって有益なものになりますことをお祈りいたしまして、簡単ですが私のご挨拶といたします。ありがとうございました。

## 来賓挨拶： 原山優子 総合科学技術会議 議員

ご紹介いただきました原山でございます。本シンポジウムの開催にあたりまして、ひと言だけご挨拶させていただきます。私ども、昨年科学技術イノベーション総合戦略というものを策定しました。中身のことはすでにお目通しいただいていると思いますが、その中でも方向性を定めるにあたって、3つのキーワードを入れております。1つめがスマート化、2つめがシステム化、3つめがグローバル化です。このシステム化というのはまさに本日のトピックスとばっちり合っているわけです。いろいろ議論したのですが、なかなかシステムというのはつかみにくい概念であって、また幅広い概念である。でも、イノベーションを起こすという視点から見ると、マストなものなのです。システム化がないともう要素技術を積み重ねただけでは、実装には至らない。また、いわゆる技術側面だけではなく、社会的な側面、様々な側面を含める必要があり、それをパッケージとすることが必要で、集めただけではなく、中でのやりとりというものをどう構築するか、どうデザインするかというのが鍵です。そういう意味から



システム化というものを位置づけました。とはいうものの、システムというものを科学するというのは非常に難しいことで、これまでも工学的なアプローチもありますが、私自身経済をかじったもので、社会学的な視点から社会システムというものを作り上げるそのプロセス、分析というものがあります。たぶんここで議論すべき、これからの方向性として考えるのは、その様々なシステム論というものを統合させた形でもって、いかにそれを実装できるものにもっていくか、そういう議論というのが必要だと思います。そういう意味で CRDS は、いつものことなのですが、先見の明があって、既存のものに満足することなく、新しい分野にチャレンジしていくのが CRDS と私は理解しておりますし、その中の1つとしてこの分野というのが活かされていくと信じています。また、JST の中には RISTEX という社会課題への対応ということを取り扱っている分野がありまして、そことも連携をしていただくことを考えつつ、また、イノベーションのドライバーとしてシステムということを真っ向から、真正面から取り扱いながら新しい発想というものを提示していくことを期待しております。

本日の議論、様々な方面から、また日本の中に閉じることなく、アメリカ、中国、様々な視点をここで皆さんと議論することによって、日本のこれからの進み方について、何らかの方向性が見出されるものと思います。ですので、期待しておりますので、また私自身も楽しませていただきます。ありがとうございました。



## 来賓挨拶：安藤慶明 文部科学省研究振興局基礎研究振興課課長

文部科学省の安藤でございます。今日はお招きいただきましてありがとうございます。まず、今日出席の予定であった審議官の山脇のほう公務であいにく欠席となりましたこととお詫び申し上げたいと思います。システム科学技術ということですが、エネルギーとか交通とか情報通信、いろいろな複雑な社会システムに支えられているこの社会におきまして、望ましいシステムを作り上げていくということ、そのための科学的な基盤を構築する、あるいは技術的な手法を作り上げる、こういった科学技術の発展は非常に重要なもので、生活の質を大きく変える可能性を秘めている重要な課題であると認識しております。

先ほど原山先生からもお話がありましたイノベーション総合戦略におきましても、システム化という視点が大きく打ち出されておりますし、第4期の科学技術基本計画の中でも、領域横断的な科学技術としてシステム科学技術の重要性が謳われているということは皆さんご案内の通りだと思います。こうしたところで、JST-CRDS 吉川センター長がこの重要性に着目されて、いち早く組織体制を整え、議論を牽引していただいたということ、社会的な課題に応じて戦略プロポーザルという形でまとめて、議論を深めていただいたということにまず敬意を表したいと思います。そして、こういった成果を元に私ども文部科学省におきましても、JSTと連携して戦略創造研究推進事業ということで、戦略目標の策定などを通じていろいろな形でシステム科学技術の推進につなげて努力をしておりますが、この場を借りてJSTほか、皆様にも感謝を申し上げたいと思います。

特に平成24年度におきましては、分散協調型エネルギー管理システム構築に関する戦略目標を立てたところでございます。再生可能エネルギーを含めたエネルギー需給に関するシステムの最適化と言う課題に対して、頑強なエネルギーインフラの構築に関する理論、そして数理モデル及び基盤技術の創出を目指すという目標でございます。今日もご参加いただいている藤田研究総括の下で今までになような飛躍的な成果が創出されることを文科省としても強く期待しているところでございます。

特に平成24年度におきましては、分散協調型エネルギー管理システム構築に関する戦略目標を立てたところでございます。再生可能エネルギーを含めたエネルギー需給に関するシステムの最適化と言う課題に対して、頑強なエネルギーインフラの構築に関する理論、そして数理モデル及び基盤技術の創出を目指すという目標でございます。今日もご参加いただいている藤田研究総括の下で今までになような飛躍的な成果が創出されることを文科省としても強く期待しているところでございます。

こういう進展の中にあって、やはり議論がまだ十分という状況ではないと思います。さらなる進展のために、数学、情報科学、化学、物理など、いろいろな分野の方に集まっていただく。そして自然科学だけではなくて、人文社会科学の研究者の方にも参加をいただいて協力する、あるいはさらに産業界の知見もお借りしながら議論を深めていくということが非常に重要な状況にあるのではないかと思います。その中で、本日は適応制御などのシステム制御理論に精通され、システム科学技術に高い見識を有する方、アメリカ、中国からもご参加いただいて、お話を伺うということ、そして各分野の著明な方々による討論をするという本日のこのシンポジウムの企画は非常に時宜にかなったものであると思います。このシンポジウムを契機に、



システム科学技術に関する議論が高まることを期待しております。

こうした議論を深めていただく、あるいはこのシステム科学技術を推進していく上で、やはり人材育成というところが非常に重要になってくると思います。いろんな分野にまたがっているところですので、既存の学問分野にとらわれることなく分野を横断するような新しいアプローチを考案する、あるいはそれを実証する、これを支えるような人材を育成する必要があるのではないかと考えております。

こうした人材の育成が進みますように、大学や関係の学会等とも、また産業界とも協力をしながら、システム科学技術の発展を支えるような人材育成にも必要な議論を深めていただければと考えております。

最後になりましたが、本日のシンポジウムの成功、そして今後のシステム科学技術の発展、また今日お集りの皆様方のご活躍を祈念いたしまして、私からの挨拶とさせていただきます。今日はお招きいただきましてありがとうございます。



## 第 1 部 基調講演

Khargonekar 氏 基調講演

Good afternoon everybody. Let me begin by thanking Dr. Nakamura and JST for inviting me to the symposium, and asking me to share the NSF perspective. I also want to thank Kimura-sensei, who has been a friend of mine for more than 30 years, and has been a leader in the field of control in which we both share a research interest.

What I am going to do is talk about systems science and engineering from the National Science Foundation perspective, and in the hope that it will share some light on the issues that were brought up in the previous remarks, many of which I agree with.

First, a bit of background on the National Science Foundation. The National Science Foundation in the US was established in 1950 through what is called the NSF Act. The NSF Act came into being as a result of a really very famous paper that Vannevar Bush, who was at MIT at that time, wrote about the value of science and scientific research to societal well-being, and he

essentially made the argument that the investment that we make in fundamental research in science and engineering has many full benefits to society, and convinced the US Congress and US administration to establish the National Science Foundation, of which in the 1950 Act says to promote the progress of science, to advance national health, prosperity, and welfare, to secure the national defense. That still remains the mandate to the National Science Foundation. Of course we don't do as much in health as the National Institute of Health, nor do we as much in defense as the Department of Defense. We are mostly the science-funding agency for the United States, but still the mandate and the vision that Vannevar Bush established remains the foundation for NSF.

This chart gives you the structure of NSF and where Engineering sits. We are led by the director, who is Dr. Cora Marrett, and we report to the National Science Board, which is a group of imminent scientists and engineers appointed by the president and approved by the senate to lead the National Science Foundation and provide the oversight. The NSF itself is divided into seven science directorates. Engineering is one of them, and we have biological sciences, mathematical and physical sciences, geosciences, and so forth. You can see Engineering is one of the key directorates at the National Science Foundation.



The vision for Engineering directorate is to invest in transformative research and education to foster innovations for benefits to society. For the most part, our funding is to research, mostly in US universities to professors, graduate students, and undergraduate students. We invest some of our funding in education because education is a very important component of realizing any benefit from scientific research. In fact, it is all about people. If you have talented people who are well-educated, they can do amazing things, and we take that very seriously so we invest some in education. And we invest some in innovation. That is transformation of research advances to practical benefits to society. These three things work together for NSF engineering directorate to create societal benefits. So that is the overall vision and picture with which we operate.

The directorate of Engineering is divided into five divisions. There are three divisions that are core engineering disciplines. One is CBET, Chemical, Bio logical, Environmental, and Transport systems, that is where you cover most of the standard chemical engineering, biological engineering, biosystems engineering, environmental engineering, and so forth. Those clusters that are in the slide give you a little bit more detail of the different science and engineering areas we support under CBET. Next is CMMI, which is Civil, Mechanical Manufacturing Innovation, where most of our work is in mechanical engineering and manufacturing in civil infrastructure and systems engineering reside.

Third is ECCS, which is Electrical, Communications and Cyber Systems, which is

mostly electrical/electronics. Those types of research fields are supported in ECCS. These are the three core disciplinary divisions.

Then we have three cross-cutting activities. There are two divisions. EEC, Engineering, Education and Centers, where we fund engineering research centers, and I will speak more about ERCs more in my talks so let me not say much here. We support all of our education activities out of EEC, and workforce development. Then we have IIP, which stands for Industrial Innovation and Partnerships. So this is the closest piece to innovation that is taking lab research into commercial realization. There are two major areas here, academic partnerships and small business partnerships.

Then there is a sixth piece of the engineering directorate called EFRI, which is Emerging Frontiers in Research and Innovation. This is approximately 30-35 million dollars every year we get to invest in completely new areas that arise from our investments in basic engineering sciences as well as general cross-cutting activities. So depending upon the opportunities we create EFRI program, and I will share one example of an EFRI program with you later in the talk today.

This is the Engineering directorate at NSF structure. Our budgets, although we complain a lot about our budgets, have grown reasonably from about 240 million dollars to more than 800 million dollars in 2013. So that gives you a sense for the overall investment that NSF is making in

engineering research. That gives you a background for NSF and for Engineering.

I will now begin to talk about systems. This part you can regard as essentially giving you the pictures of what NSF is doing in what you might call systems. And then towards the end I will rise back up from the details to post some overarching questions and closing parts. So the first point I will make about systems is that it is a word that means many things to many people. What I did in preparation for this talk is that I went to Oxford English Dictionary, which is an authoritative source for the meaning of words and this isn't quite the complete – so you should do it yourself. You should go to OED and find out what *system* means in the English language. This is just a collection of meanings; “a set of things working together as part of a mechanism or interconnecting network,” “a set of organs in the body with common structure or function” – like our blood system, our neural system, the human animal body as a whole, and so forth. You can read all different meanings.

And then there is “set of principals or procedures.” “Orderliness method.” “Method of choosing one's procedure in gambling” – so there is a system for winning in gambling, say in pachinko, for example. “A set of rules in measurement or classification” or very often it is used to mean social systems or political systems. It is interesting to note that system is one of the thousand most used words in the English language. The point of this slide is that the word system means a lot of

different things, and that is part of the reason why it is very difficult to come to grips with this concept.

At the same time, as human society evolves and as technology evolves, we are creating more and more systems with great impact on our life and societal situations. So there are four pictures on this. The left-most picture is the electrical grid in North America, in the United States. Many people consider the Eastern Interconnect of the North American grid as the single largest engineered system on this planet. It is the entire set of generators and consumption devices which include all households and factories, and so on and so forth, working together in an extremely synchronized fashion in real time. What is considered to be the number one achievement of engineering in the last century is the electricity network. We are building systems like this.

The right-hand side is a snapshot of the Internet, just the large nodes, just shows the traffic that is traversing the North American Internet. I think this picture is a couple of years old; just to give you a visual picture of the system that is conveying information back and forth in real time.

Bottom-left is the Boeing 787, with its myriad of components put together in a hierarchy to create a system that is the Boeing 787 plane. And here the word *system* takes in different meanings; so there are subsystems, and subsystems, and systems of systems, and so on and so forth, which ultimately end up being the 787,

which in turn is part of the air transport system in the United States, in the world. So again, the meaning of the word *system* becomes difficult to grasp once you see these kinds of examples. And the fourth one, which I think I will come back to is the man-made systems such as our energy, water, infrastructure, along with the natural system, which is our planet, our oceans, our rivers, our forests, and so on and so forth, which are increasingly interacting systems. Again, the idea is to give you a flavor for the word system and the systems that we are currently now constructing as a society which affects what we will do.

With this background, what is the NSF doing in systems? Systems, first of all within Engineering, is a common theme in almost everything we do. So if I go to any part of Engineering directorate and I ask, “What are we doing in systems?” The answer is something positive. “Yes, we are doing this or we are doing that in systems.” So it is truly pervasive within engineering. But engineering is not the only place. Systems are supported heavily in our Computer Science directorate. The computer and network systems division funds enormous amounts of research in systems and they are built rather complicated. Software systems or networked systems, information intelligence systems, all the stuff in machine intelligence are funded out of our IIS, they are building quite complicated systems that perform a certain function.

But it is not just engineering and

computer science, which is somewhat related and similar, many of other directorates have investments in systems. Social and behavioral sciences, biological sciences, mathematical and physical sciences, and geological sciences, they all have some program which has a direct footprint in what you might call systems. So again, the point is that it is a very, very broad area of where there is a lot of investment that is taking place.

I picked out for today’s presentation a few of the programs and divisions that are investing in systems. I will share with you some examples of things and research questions that are being funded in these: Bio-process Systems; Chemical Process Systems; Environmental Systems; Operations Research; Engineering Systems and Design; Controls – which is my own field – but as you can see, it is very beyond controls. There is a large variety of disciplines that are contributing to systems. Dynamical Systems; Civil Infrastructure Systems; Communications, Circuits, and Sensing; and so forth.

I have left out several which are doing systems. These are some snapshots for you. Operations Research, the program that does optimization. The research goal of this program is to enable optimization of larger, more complex systems accounting for uncertainty. It has its roots in linear programming and nonlinear optimization, and so on and so forth. Where we are going with this program now is large-scale, nonlinear optimization for large interconnected engineered systems. Modeling,

simulation, and optimization under uncertainty, one of the major themes that we are pushing in all areas is the fact that models are not exact. There is uncertainty in models, and parameters, and system descriptions, how do we do all this work accounting for uncertainty. And then finally, you don't always get guaranteed algorithms, so are there good heuristics for solving large-scale problems? The OR program invests heavily in solutions to these types of questions.

Engineering Systems and Design Program. This is mostly where our manufacturing and design group works. And their research goal is to create and implement a framework for rational design decision making. Mathematically rigorous framework for optimal design decision making – and I will come back to this – particularly for the fact – and the B787 is probably as good as an example of any of this fact – that in any kind of an engineered system design, no single person makes all the design decisions. In fact the design decision making is very distributed. It is not the case that one single designer is making all the optimization choices. It is literally hundreds of people acting in collaboration but somewhat independently making decisions. It goes back to the point that was made about social sciences, that game theory becomes a very important part to understand how large numbers of people working independently and collaboratively, but not always, make design decisions. Proper treatment of uncertainty, incorporation of decision theory into engineering design, a life cycle view – it isn't as if we

design a system and then we get out. Most of the time we design a system and then it is put in operation. A great example is the electric grid. We will design the system and then we will operate the system on a daily, hourly, minute-by-minute basis. So the design and operation are intrinsically linked and they are to be taken into account, and then it can go beyond distribution, sales, operation, maintenance, and so forth. Then we have got some unique design programs. One of the most interesting programs is the *origami program* that came out – in fact the Japanese colleagues here might be interested – but we created a program on origami-inspired design. And there are some very interesting systems questions coming up in those things.

Control Systems of course has been a mainstay for systems and the research goal is to integrate control theory with design and decision theory. So control theory has made a lot of progress. What we are working on today is to integrate it with design and decision theory; account for uncertainty; once again, integration of control, networks, communications, signal processing; leverage feedback, feedforward; cyber-physical systems, which is the deep integration of computers, sensing, networks with physical systems. Some emerging areas where we are making investments are non-engineered or data driven systems. We are in the age of big data coming from multiple sources, how do we incorporate that in our systems design? Systems with probabilistic or stochastic behavior and then use computational structures and

dynamics to coupled design and control.

Dynamical Systems Program is one of our classic, traditional programs where we are making investments in systems. Basically here the goal is to improve modeling and simulation of large-scale systems. With increasing power of computers, we can now simulate ever-larger systems and so ever-larger dynamical systems at very, very fast timescales. So we are focused on funding research to expand modeling capabilities to include large-scale systems. Emergent behaviors from complex systems is a major theme, for as systems get more and more complex, behaviors arise that could not have been foreseen or predicted when the system was either designed or built. And then incorporating game theory and uncertainty into system modeling and simulation. This idea that multiple people are interacting in the design process is being included in the simulation and modeling program.

Civil Infrastructure Systems Program is another major investment and is becoming more and more important for us, mainly because these systems are large in scale, are complex, involve not just the designers but the entire society because the user behavior is very critical in the system performance. The goal here is to enable good decision-making in an interdependent systems context. Interdependent, what we mean, is different infrastructures depend on each other. For example, the electricity production, the grid depends on the oil and gas network. Water systems depend on the electrical grid, and the transport system depends on the communications network.

We are seeing increasing interdependencies between different kinds of infrastructures. The goal here is fundamental research for resilient and sustainable infrastructure systems. We accept the fact that every now and then we are going to have either man-made or natural disasters that are beyond our ability to control or prevent. The question is whether we can make our infrastructure resilient so that it can come back from major impacts and provide service to people. All of our countries have faced such disaster. In the US it was Hurricane Sandy last year that caused major devastation, in Japan you are still dealing with the Fukushima issue, and so forth. Focus on performance management, risk analysis, life-cycle analysis, and social and behavioral impacts.

In our ECCS (Energy, Power, and Adaptive Systems) division, in fact, we held a joint workshop with Dr. Fujita and JST as well as the German research, DFG, in this area. Here we are funding Control Theory and Hybrid Dynamical Systems; Distributed and Mobile Networked Systems, as more and more systems are getting distributed and they have networks; Cyber-Physical Systems I have mentioned; Energy Storage, Collection and Harvesting Systems, so basically using powered electronics and semiconductor technology for energy harvesting and for storage is a significant activity here; Power and Electric Grid Control Systems, which is where the workshop was, distributed energy management systems, renewable energy integration; and finally, Adaptive and Intelligent Systems is funded out of



Energy, Power, and Adaptive Systems.

Terahertz Systems is what you might think of as much more hardware, but even there, systems I suspect are becoming more and more important. The goal here is to develop imaging systems with high efficiency resolution, discrimination, dynamic range, and acquisition time. And the big challenge is systems integration. So there are many research investments we are making to make these systems possible. For example, new approaches to signal generation, efficient sources and detectors, RF nano-technology which becomes a piece of this Terahertz System, miniaturizing integrated systems, time- and frequency-domain imaging methods, and so on. We integrate all these to create the terahertz imaging system which we can operate for all sorts of important applications.

So far I focused on what you might think of as physical systems, but there is an increasing emphasis on systems in our biologically oriented investments. I will give you two or three examples here.

Systems Biotechnology has been a major investment for the engineering directorate. If you think about the metabolic system inside a cell, it is a very complex system that is connecting inputs and outputs. If we can understand this system, we are approaching a sort of reverse-engineering question, which is if we understood the metabolic system well, can we use it to create new kinds of factories that can produce products that we might be interested in, such as biofuels or

pharmaceuticals, that could be produced much more cheaply if we understood these types of things? This is a significant part of our program and this is just an outline of the approach that we take. Metabolic flux analysis, then you do flux balancing, and you can represent a lot of these things through dynamical systems or linear systems, or metrics, representations. Flu Balance Analysis, then Pathway Analysis, followed by Control Analysis and then optimization. So this kind of a scheme that looks at metabolic pathways and the entire system with a goal to create new kinds of biologically inspired systems that derive from this basic understanding of the metabolic system has the potential to create huge improvements in the things that I talked about such as biofuels, and pharmaceuticals, and so forth.

I mentioned earlier the fact that human societies increasingly building systems that interconnect, man-made systems with natural systems. So our environmental systems program focuses on this interaction between the natural – in this case the example I am showing is the natural water cycle and then the urban water cycle. So there is a water cycle in nature and then there is the way human society uses water, whether for drinking, eating, agriculture, or power production. The two cycles are interacting with each other. We are funding research that aims to understand how the urban water cycle dynamics and the natural system dynamics are interacting with each other and then hopefully use it for design.

As an example, we give a career award to

one of the young professors who is using First-Order and Second-Order Reliability Methods to compute the reliability, resilience, and vulnerability metrics and sustainability index for a watershed used for drinking water in the Midwest. I think this is in the Ohio region. He is using these kinds of models and reliability methods to understand the watershed system. The goal here is that this research will impact the design of environmental monitoring for watersheds and design of sustainable watershed management strategies. I think water is already a huge problem, and this kind of a systems approach to understanding the water problem can have very large benefits in the future.

This shows how we use every part of my directorate to do opportunistic research. We just put out a solicitation called RIPS, which stands for Resilient Interdependent Infrastructure Processes and Systems. The idea here is we think of infrastructure as hard physical goods. You can think of transport system as cars, roads, traffic signals, and so forth. We think of air transport as airplanes, airports, and so forth. We are saying that maybe this way of thinking is not the best because I really don't care about the car or the plane. I care about getting from point A to point B at a particular time. So the question we are asking is can we think of this as a service that millions and millions of people want a service of going from X to Y – in the case of transport systems, you can think of the same in the case of energy, in the case of water, that we are trying to provide services in a robust way. To change the

thinking on infrastructure from hard physical goods to information enabled services. With the rise of distributed sensing, distributed information and networking, perhaps you can have very different solutions to infrastructure questions than we are used to and to completely redesign of how we think about infrastructure. So the RIPS Program challenges the academic research community to think of a new paradigm which is more resilient, more beneficial, more economic, and higher performance by rearranging the system components. It is very much a systems program aimed at a certain way of thinking.

As I mentioned earlier, Complex Systems, so Emergent Behaviors, is something that we remain very interested in and we are funding research on how different design complex systems to give desired performance and behavior to have adaptation learning, and so on and so forth.

Finally, I want to share with you, this is a new program that we are putting out in the service sector. What we are saying is, whereas a lot of engineering research in the past has benefitted manufacturing and engineered systems, can we apply the same principles and ideas and techniques to improve quality, performance, reliability of services such as healthcare, education, so on and so forth? We are funding some basic fundamental research as well as application transitional research in smart service systems. Our initial focus is platform technologies. We are funding platform technologies to enable smart



service systems. Again, the idea is the enable systems innovation by combining dynamical systems, and for distributing information, networking, and so forth, to benefit the consumer.

Another part of our program ERCs, the Engineering Research Centers, are very heavily systems oriented. This was established in 1985 to enhance the competitiveness of the United States and prepare engineers to contribute through better engineering practice. The centerpiece of the ERC program is what we call the *engineered system*. Compelling vision for an engineered system which is at the cusp of discovery and innovation for societal impact. I will give you a few examples to illustrate this idea. It is a 10-year investment so this is not a typical three-year grant. It is a 10-year investment, 4 million a year, so it is a very large investment. It is approximately 80 million dollars of funding that we do every year. Again, I don't want to read the slide, I would rather explain it through examples.

The way systems play a major role in ERCs is very strategic and it happens through our 3-Plane Strategic Research Plan. So I want to spend a couple of minutes explaining this because this is at the heart of how systems are playing a big role in our ERC program. This 3-Plane Strategic Plan is a requirement and all the ERCs are judged on this. It is based on some very critical engineering systems goals, and it identifies fundamental research and technical barriers, and then it organizes research and education towards

achievement of the system goals. And it includes non-engineering – societal, environmental, and other non-technical factors as well.

It will be very difficult for me to walk through the chart, but at the bottom-layer are the fundamental research components. These are typical engineering science questions that you might see in control theory, or in manufacturing, or in networks, or what have you. These are just traditional scientific engineering research questions. Above that are enabling technologies, so this scientific research that we fund will create some new technologies that enable development of useful products. But at the top is really where the systems view comes in. We have systems level goals which come from our stakeholders which are usually industry members. They will say that there is a gap or there is need for a certain kind of system performance. What happens is that in the outliers, the system level goals and the system level requirements drive our understanding of what barriers are there in the enabling technologies and what barriers are in fundamental research. As our research progresses, it creates enabling technologies that are tested in our testbeds. These are university lab testbeds. But ultimately they are tested in the systems level testbeds. So these are serious testbeds where all the research and all the enabling technologies are brought together to see whether it actually achieves the performance you want. And if not, then we can repeat the cycle. It is a tenure year view, and it has had pretty amazing

impacts, so I just want to share with you some examples.

Biomimetic Microelectronic Systems ERC at University of Southern California was funded in the late 90s or early 2000s. The vision of the center was to develop science and engineering for novel biomimetic systems based on fundamental principles of biology. They had three testbeds, a retina, a cell, and cortical testbeds. These were system level testbeds that were enunciated and then there was fundamental research in neural science, in nonlinear modeling, and low powered electronics, and in all fundamental scientific and engineering research fields that fed the enabling technology – like systems on a chip, power and data management in a chip.

And here is the realization of the vision where there was a retinal implant that was created by the center which has gone through all the testing and was approved by the FDA – the Food and Drug Administration – in 2013 for human use. To me this is an amazing achievement, in that you go from a high level engineering system vision to something that is actually helping people today. All of this happens because of this very strategic view of system level performance, system level goals, and then driving all the fundamental research and enabling technologies to achieve those system level goals.

Here is another ERC that we funded recently. It is a very different kind of ERC because this is on reengineering the urban water system. So as we get these megacities

– Tokyo is a fantastic megacity. I think it is about 35 million people live in the greater Tokyo region. The world is going to have these megacities with 30, 40, 50 million people. We are asking the question, how are we going to design the water system to supply water to all these people? Again, we have this same construct, fundamental researches in hydrology, geosciences, electronics, process engineering, and then we have the testbeds. And then ultimately in this case it is going to be testbeds at the level of cities where we will collaborate with city governments and so forth to test whether our solutions are having the kind of performance that we want. You can see how we are putting together a major research program which is systems-oriented that will potentially have a great impact.

This is a third example, which again has had a huge success; Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere (CASA). The idea here was we rely on the national weather system radars for weather prediction. We noticed that many times the warnings, especially for tornados, come a little bit too late and it hurts a lot of people. So the idea behind this thing was whether we can create the national weather system that has a hundred-plus all the radars that are used. Can we have thousands if not tens of thousands of smaller-scale miniature radars that can be put on a building, on a cell-phone tower, just distribute them everywhere with distributed communications and networking you can bring that information? The idea was sample the atmosphere where and when

user need is greatest., so you are relying on fixed radars, a large number of radars, cheaper, smaller, distributed. This was the vision. And that was a strategic concept. Again, they had the same fundamental research. In this case it was cross-layer resource allocations, small-scale atmosphere, electromagnetic wave phenomenon, and technology research and then systems integration. All of this was carried out, and in 2011 this actually was put to test. So there was a tornado in Oklahoma, and this was a call from Raytheon which was one of the systems integrators which says that this system actually worked, gave warning three minutes before the national weather system, and they helped us save probably tens of lives. Certainly a lot of people were less inconvenienced as a result of this.

Sticking with the theme of ERCs, nanosystems, nanotechnology is sort of quintessential fundamental science which you don't think of as a system. But we are increasingly focusing the nano research towards systems. We have awarded three NSF centers at \$55 million for five years. I will show you two examples from this.

TANMS is one area where we are doing



systems level – an ERC type of thinking but applied to nanoscale multiferroic systems. There are two fundamental discoveries which is a nanoscale switch to control magnetism and a new class of nanoscale multiferroic materials and elements. These are fundamental nanoscience, nanomaterial science type of discoveries, and what we are now saying is we are going to construct a plan whereby we can have a novel memory device, a novel antenna, and novel motors. So the same kind of testbeds, enabling technologies, and so forth is going to be brought to bear on this nanoscience research. There are five universities involved, there is a materials fabrication facility that is under construction, and then we have got components suppliers, and we have got systems integrators, things like GM, Boeing, Micron, and so forth. Micron would be the memory company that you might recognize, or Lockheed Martin the airplane company, or Raytheon. And so this whole thing, the plan has been put together, and as we move the fundamental research in nano, we are going to aim for the systems level values.

ASSIST is another of nano. These are nanoscale sensors to monitor medical conditions and exposure to environment using nanobiosensors. So these are very, very tiny sensors that you can distribute all over. And again, we have a plan where we are going to have three areas of impact; 1) energy harvesting and storage, 2) nanoelectronics, and 3) nanobiosensors. There will be the same kind of testbeds and integration of these fundamental devices

into system level performance. These are some of the technology goals; piezo MEMS, and thermoelectric integration, low-voltage TFETs, and so forth.

So I gave you a lot of examples and snapshots. I want to now use the remaining five minutes to share with you overarching issues. Number one is very clear. It is a very broad question, very broad topic that cuts across a variety of domains. It is increasingly critical in realizing benefits from fundamental research in components. There is no, as far as I know, overarching and encompassing theory for system science and engineering. There are lots of pieces, and I showed you lots and lots of pieces, but there is no single theory that covers everything. And in my opinion there is insufficient leveraging of systems knowledge across application areas. I already mentioned this so let me skip this one.

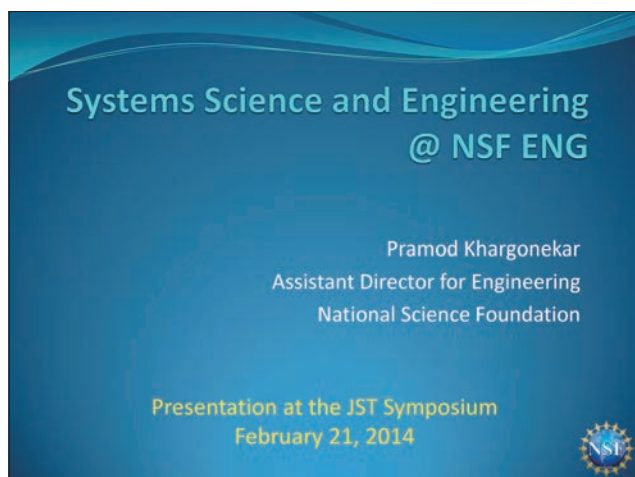
What are some of the components of systems science and engineering? I think all of these are important research questions. How do you specify desired system level requirements? That itself is very, very difficult. Of course you have the usual things like modeling, simulation, you have analysis and verification – Intel

routinely verifies its chips using formal proof, theorem proving, and modeling. Concepts needing formal development, things like architecture – we really don't have a theory of architecture. Modularity, we use this word but we don't have a theory for this. Efficient exploration of design space. Dealing with uncertainty – very, very critical. Human behavior, the social science aspect in building of systems, game theory because hundreds and thousands of people are making decisions, not always completely collaboratively, not with complete information sharing. These are very much social science questions.

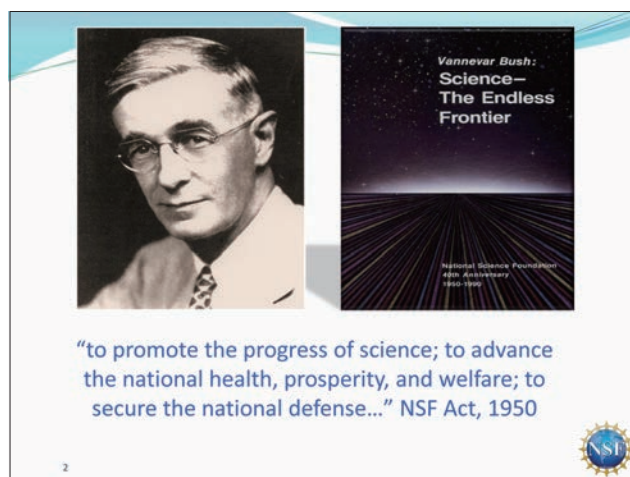
What we would like to achieve in the long term is to integrate these theories towards a theory of systems. The final point is that while that theory is being developed, what we would like to do is to systemize learning from experience because the theory doesn't exist. It exists in pieces. So what we should do in parallel is as we build more and more complicated systems, and as we have all this experience in different parts, how do we learn from each other to have better tools for systems level design and understanding. So with that, these are the concluding parts. I think I am running out of time so I am going to just stop here, and thank you very much for your attention.



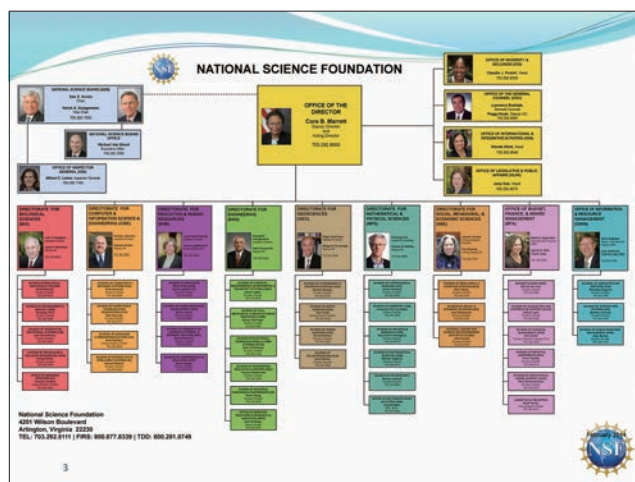
Khargonekar氏 講演スライド



1



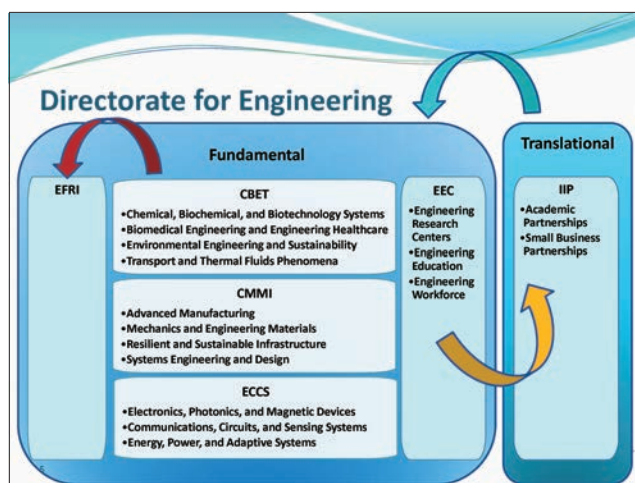
2



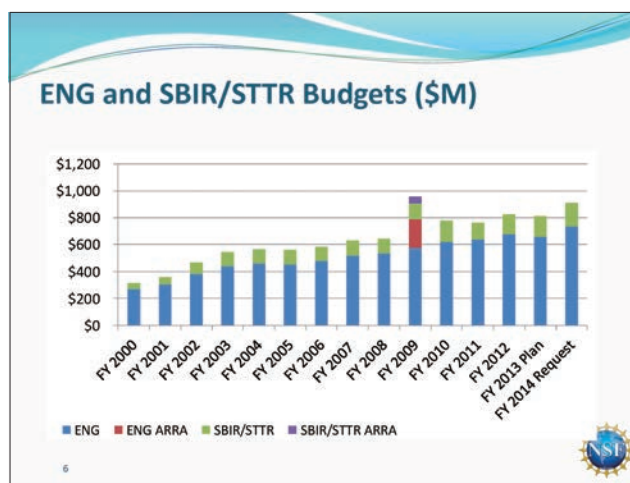
3



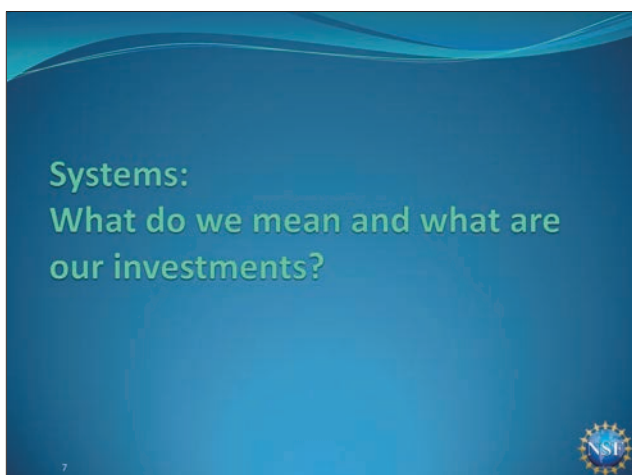
4



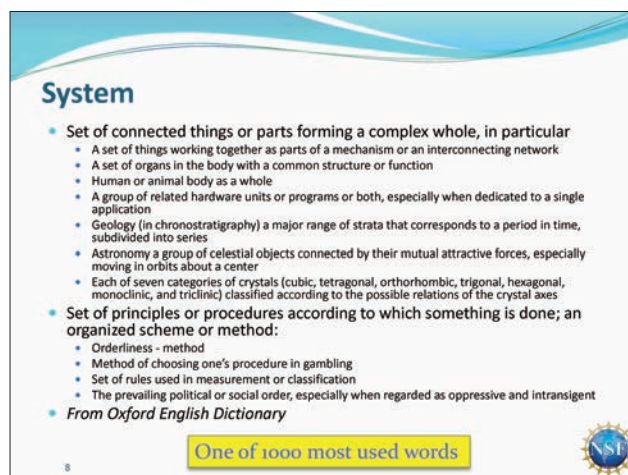
5



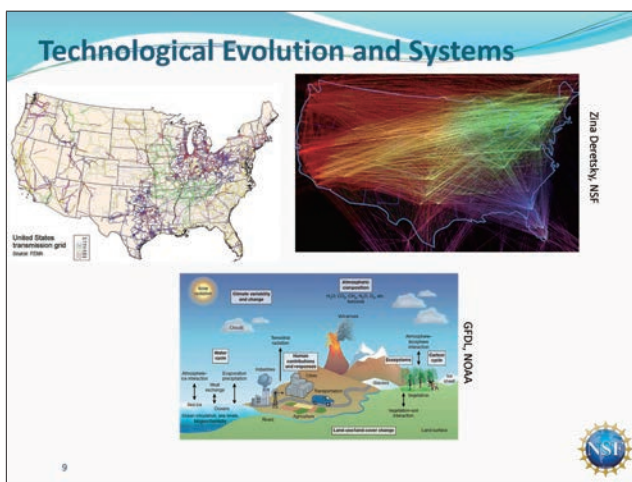
6



7



8



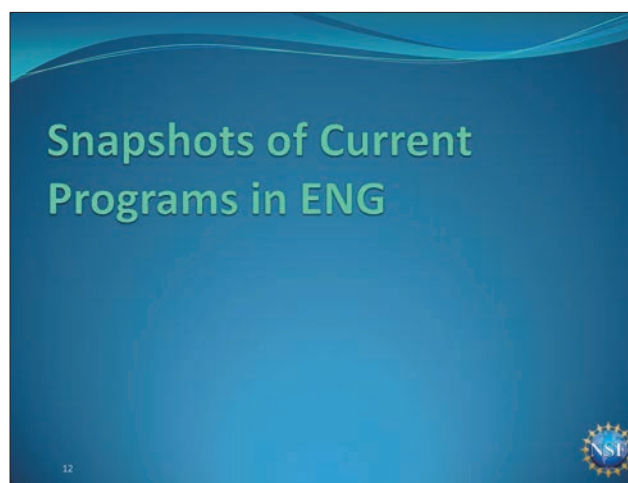
9



10



11



12




### Operations Research Program

Research Goal: To enable optimization of larger, more complex systems accounting for uncertainty

- Large-scale, nonlinear optimization for large engineered systems
- Modeling, simulation and optimization under uncertainty
- Heuristics for large problems

CMMI  
13




13

### Engineering Systems and Design Program

Research Goal: To create and implement a framework for rational design decision making

- Mathematically rigorous framework for optimal design decision making
- Proper treatment of uncertainty
- Incorporation of decision theory into engineering design
- Life cycle view—includes design of the organization, manufacture, distribution/sales, operation, maintenance, warranty, liability, reliability, disposal, etc.
- Unique design challenges—compliant structures, origami

CMMI  
14




14

### Control Systems Program

Research Goal: To integrate control theory and decision/design theory.

- Integrate engineering design theory and control theory
- Account properly for uncertainty
- Integration of control, communication and signal processing for sensing and/or actuation
- Leverage feedback, feedforward, uncertainty, communication, signal processing, and machine learning
- Cyber-physical Systems
- Emerging areas:
  - Non-engineered or data-driven systems
  - Systems with probabilistic or stochastic behavior or characteristics
  - Leverage system and/or computational structure or dynamics – coupled design and control

CMMI  
15




15

### Dynamical Systems Program

Research Goal: Improve modeling and simulation of large-scale systems

- Expand modeling capabilities to include large-scale systems
- Emergent behaviors and complex systems theory
- Incorporate game theory and uncertainty into system modeling and simulation

CMMI  
16




16

### Civil Infrastructure Systems Program

Research Goal: To enable good decision making in an interdependent systems context where people are a part of the system

- Fundamental research for resilient and sustainable infrastructure systems
- Focus on performance management, risk analysis, life-cycle analysis, social and behavioral impacts
- Emphasis areas:
  - constructions engineering
  - infrastructure systems and management
  - transportation systems

CMMI  
17




17

### Energy, Power and Adaptive Systems

- Control theory & hybrid dynamical systems
- Distributed & mobile networked control
- Networked sensing & imaging systems
- Control aspects of cyber-physical Systems
- Energy storage, collection & harvesting Systems
- Power and electric grid control systems
- Adaptive & intelligent systems

ECCS  
18




18

### Terahertz Systems

- Challenges
  - Development of imaging systems with high efficiency, resolution, discrimination, dynamic range, and acquisition time
  - Systems integration and design
- Opportunities
  - New approaches to signal generation
  - Efficient sources and detectors
  - RF nanotechnology
  - Miniaturizing integrated systems
  - Time/Frequency-domain imaging methods
  - Current investments include THz signal generation, integrated electronics, fabrication, imaging applications.

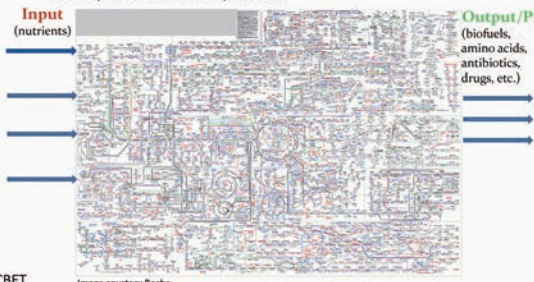
ECCS  
19



19

### Systems Biotechnology – Metabolic Systems

The metabolic pathways within a cell represent a complex system which “connects” inputs and outputs; by understanding & representing this system, we can design and construct “cell factories” which produce valuable products




Input (nutrients)

Output/Products (biofuels, amino acids, antibiotics, drugs, etc.)

CBET  
20

Image courtesy Roche

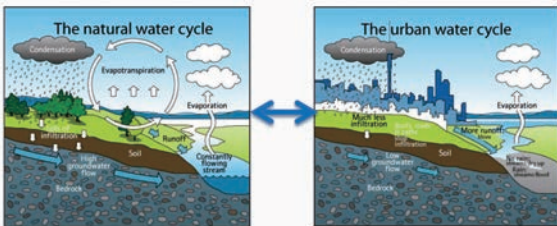


20

### Environmental Systems Program

The “environment”, a complex system, requires understanding/managing the complex system dynamics between engineered and natural systems.

Example: for watershed management and safety, water quality and quantity are important considerations within the larger context of the systems.




The natural water cycle

The urban water cycle

Images courtesy Auckland City Council


21



21

### Stochastic Systems-Based Watershed Management and Safety research

First-Order and Second-Order Reliability Methods to compute the reliability, resilience, and vulnerability metrics and sustainability index for a watershed used for drinking water




CAREER Award to L. Yeghiazarian

Ultimately, this research will impact the design of environmental monitoring for watersheds and aid in sustainable watershed management strategies.

CBET  
22


EAST FORK LITTLE MIAMI RIVER SUB-WATERSHEDS




22

### Resilient Interdependent Infrastructure Processes and Systems (RIPS) Program

- Explore new multidisciplinary engineering approaches to increase: resilience, interoperability, performance, and readiness of ICIs
- Create conceptual frameworks or theories from a multi-disciplinary perspective (computer science, social and behavioral science and engineering)
- Understand organizational, social, psychological, legal, political and economic barriers
- Understand human responses to the predicted performance of interdependent infrastructures
- Explore the economics and governance of ICIs
- Expand the design space of alternatives, leveraging new interdependencies to increase resiliency to extreme conditions and future events
- Create the knowledge that leads to innovative new ICI services and markets, facilitating transition to practice



23




23

### Engineering Complex Systems

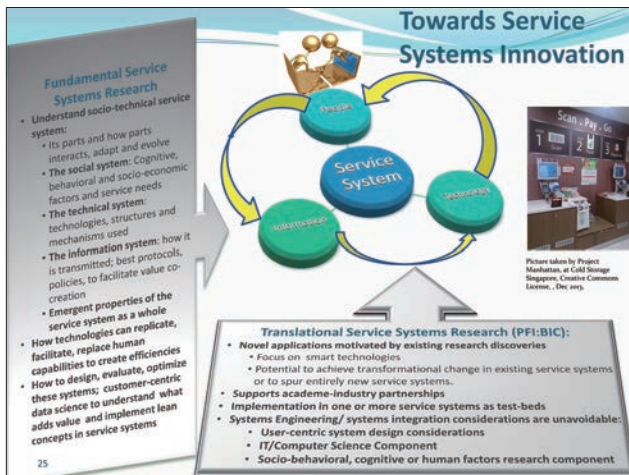
- It's not enough to observe emergent behaviors and patterns
- Engineering seeks
  - Desired behavior and performance
  - Robustness/resilience/redundancy/reliability
  - Adaptation, learning, reconfigurability
  - Self-assembly/self-organization

24

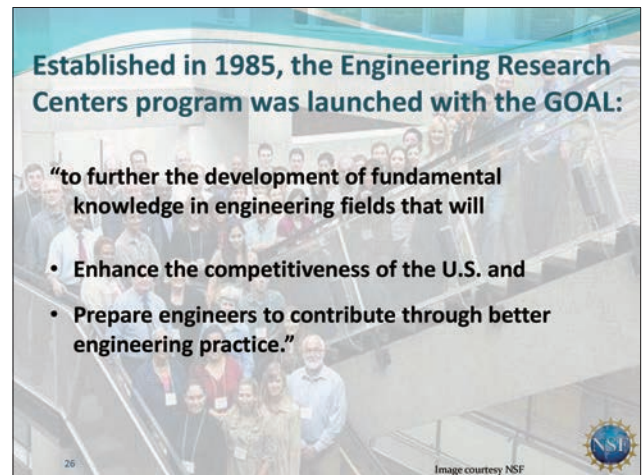


24

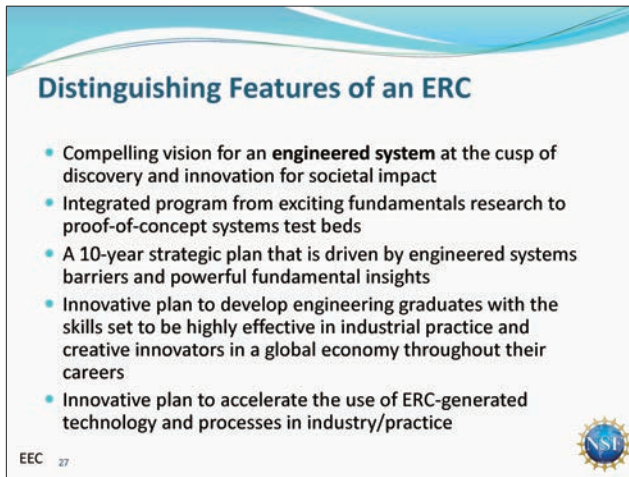




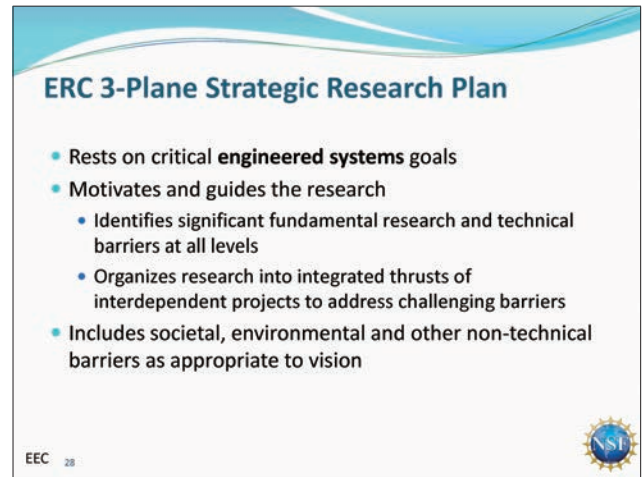
25



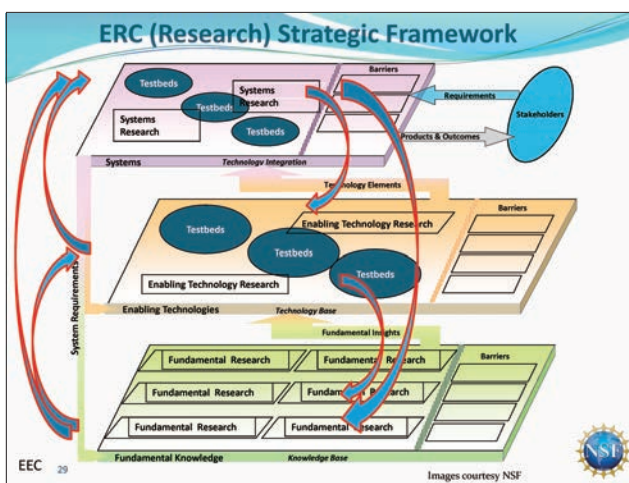
26



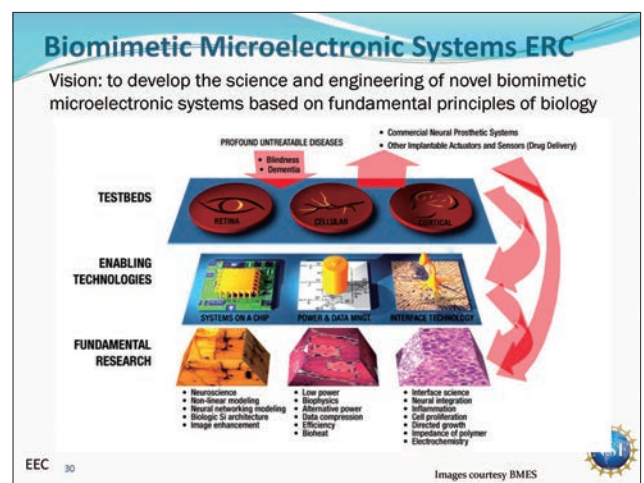
27



28

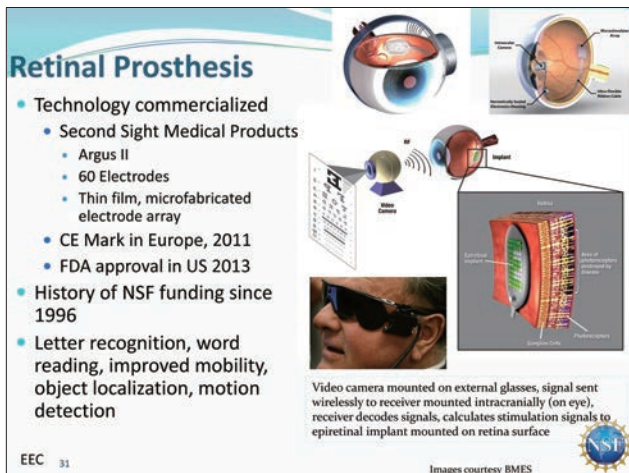


29

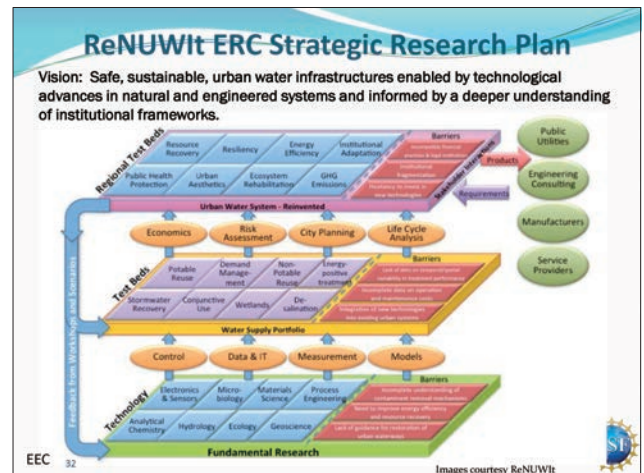


30

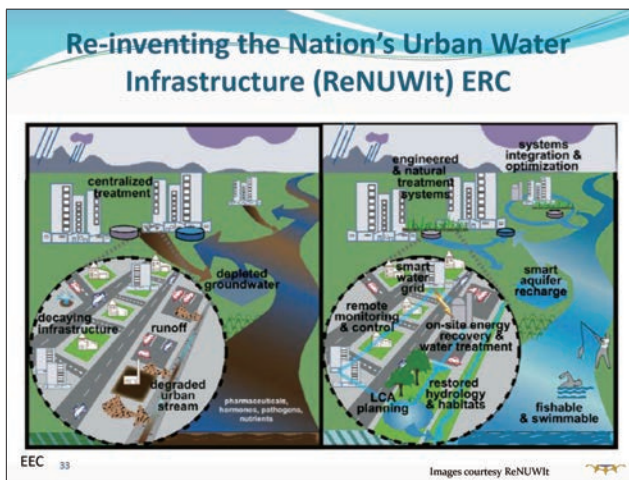




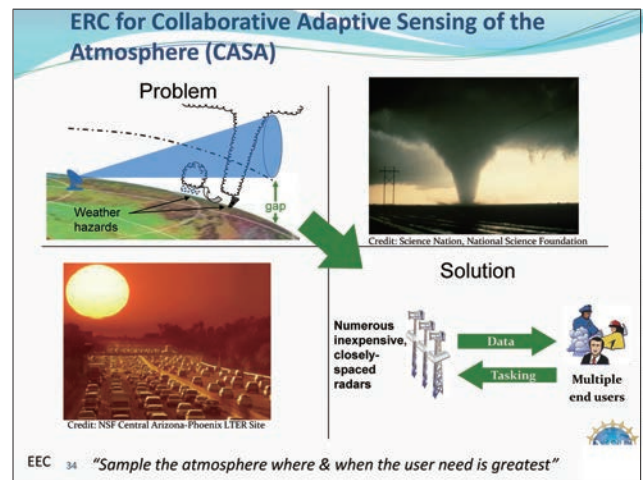
31



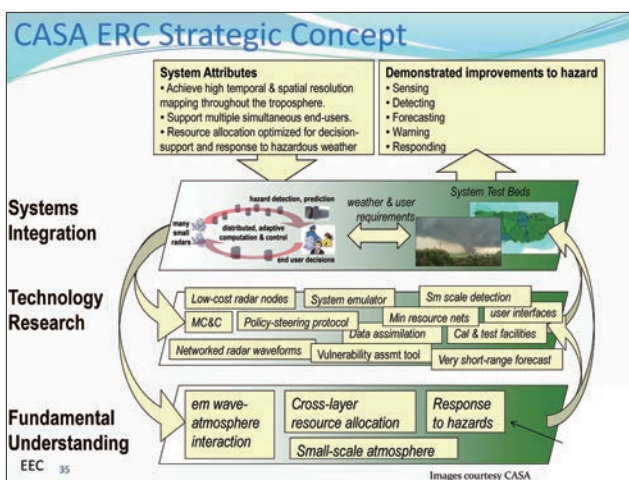
32



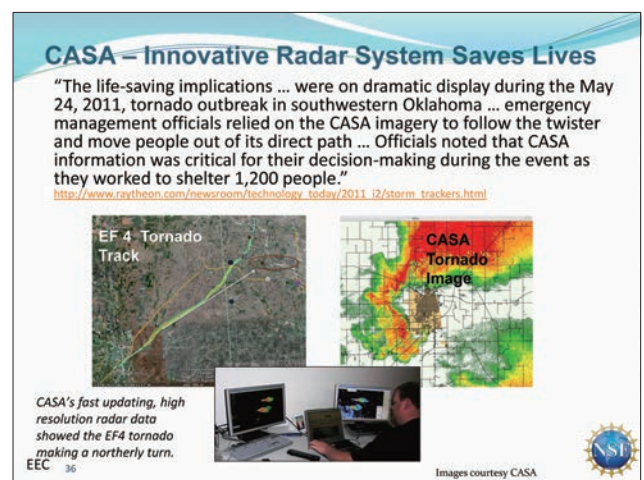
33



34



35



36



### Nanosystems Engineering Research Centers

- Three NSF awards of \$55.5 million for 5 years in 2012
- Advanced Self-Powered Systems of Integrated Sensors and Technology**, North Carolina State University: self-powered wearable systems that simultaneously monitor a person's environment and health; links exposure to pollutants and chronic diseases.
- Nanomanufacturing Systems for Mobile Computing and Mobile Energy Technologies**, UT-Austin: high-throughput, reliable, and versatile nanomanufacturing process systems to be demonstrated through the manufacture of mobile nanodevices.
- Transformational Applications of Nanoscale Multiferroic Systems**, UCLA: reduce the size and increase the efficiency of components and systems whose functions rely on the manipulation of either magnetic or electromagnetic fields.

EEC 37

37

### Transformational Applications of Nanoscale Multiferroic Systems (TANMS)

**Two fundamental discoveries:**

- Fundamentally new approach to control electromagnetism by electric switch
- New class of nanoscale multiferroic materials/elements

**Leading to fundamentally new systems including novel devices:**

- Novel Memory
- Novel Antenna
- Novel Motors

UCLA Cornell UCB CSUN ETH

Images courtesy TANMS

EEC 38

38

### TANMS Value Chain

Proof of Concept 5 Universities | Material/Fabrication | Component Supplier 11 Small Business | System Integrator 10 Corporations

Innovation to Commercial Concept

EEC 39

39

### Center for Advanced Self-Powered Systems of Integrated Sensors and Technologies (ASSIST)

- Energy harvesting/storage
- Nanoelectronics
- Nanobiosensors

**Wellness Tracking** | **Exposure Tracking**

Wellness management system: Portable, wireless

ASSIST (NCSU) - Nanosystem to monitor medical condition and exposure to environment using nanobio- and eco-sensors

Images courtesy ASSIST

EEC 40

40

### ASSIST ERC: Nanosystem technology goals

- Nanoscale Piezo MEMS (Thrust I)
- Thermoelectric Integration (Thrust I)
- Low-voltage MUQFETs/TFETs (Thrust II)
- Multifunctional nanoengineered surfaces (Thrust III)
- Integration Technologies (Thrust V)
- Heterogeneous Integration (Thrusts II and III)
- Ultra-low-power EKG and Wireless (Thrust IV)
- Integration Technologies (Thrust V)

EEC 41

Images courtesy ASSIST

41

### Systems Science and Engineering – Key Issues


- Very broad concept that cuts across a wide variety of domains, technologies, and applications
- Systems integration is becoming increasingly critical in realizing societal benefits from fundamental research advances
  - Cost, performance, time to market, ...
  - Very large economic implications
- Overarching and encompassing theory does not exist
  - Practical and domain considerations become primary drivers
- Insufficient leveraging of “systems knowledge” across application areas

EEC 42

42

### Engineering Complex Systems

- It's not enough to observe emergent behaviors and patterns
- Engineering seeks:
  - Desired performance and behavior
  - Resiliency/robustness/redundancy
  - Adaptation, reconfigurability
  - Self-assembly/self-organization
  - Reliability




43

43

### Components of Systems Science and Engineering

- Specification of desired system level requirements
- Modeling, simulation, estimation, prediction
- Analysis and verification techniques and computer aided tools
- Concepts needing formal development: architecture, modularity, adaptability, evolvability, ...
- Efficient exploration of design space
- Dealing with uncertainty
- Human behavior aspects in engineering of systems
- Game theory to account for multiple decision makers (designers)
- Connections and interactions with natural (biological) systems




44

44

### Towards Systems Science and Engineering

- Integrate extant theories towards a science of systems:
  - Decision theory
  - Game theory
  - Control theory
  - Estimation and prediction theory
  - Adaptation and learning
  - Robustness and resilience
  - Networks and distributed computing
  - Economics
  - Social choice theory
- Develop a composite theory, define the limitations of the theory
- Mitigate poor decision making where the theory fails




45

45

### Systemize Learning from Experience

- Large, complex systems being designed in many application domains
- It would be very useful to learn from these experiences in the development of systems science and engineering
- Requires an intentional approach
- Integrate into engineering education




46

46

### Closing Thoughts

- Systems – a very broad and increasingly important concept
- Critical to realize valuable innovations from fundamental scientific and engineering advances
- Systematic development of systems science and engineering is necessary and will be beneficial
- Deep interconnection between real world applications critical to guide the development of fundamental systems knowledge and tools




47

47

### Questions?

### Ideas, thoughts!

[pkhargon@nsf.gov](mailto:pkhargon@nsf.gov)



48

48



## Guo 氏 基調講演



It is a great honor and pleasure for me to be invited to give this lecture to this symposium. First of all, I would like to thank Kimura-sensei for his kind invitation. As you can see, the title is Systems Science in China. We've just listened to a very nice lecture given by Prof. Khargonekar about systems science and engineering from NSF's perspective. So this title looks quite big, but actually what I am going to talk about is first one institute, then one society, and then one scientist.

The one institute is the Institute of Systems Science at the Chinese Academy of Sciences. This institute is the first institute on systems science in China and I have worked in this institute for many years and so am most familiar with. One society is the Systems Engineering Society of China that is affiliated to the Institute of Systems Science and plays a very important role in promoting systems science and engineering in China. One scientist is Dr. Qian Xuesen, who is one of the most influential scientists in China. Actually I would like to say, the most

influential scientist in systems science in China. Finally, I will give some perspectives and then the future plans.

The Institute of Systems Science is located at the Academy of Mathematics and Systems Science belonging to the Chinese Academy of Sciences. The Chinese Academy of Sciences contains more than 100 institutions. The Academy of Mathematics and Systems Science consists of four institutes, plus a recently established center called the National Center for Mathematics and Interdisciplinary Sciences. Within the Academy of Mathematics and Systems Science, the first institute is the Institute for Mathematics(IM), and the second the Institute of Applied Mathematics(IAM), and then the Institute of Systems Science abbreviated as ISS. The fourth one is the Institute of Computational Mathematics and Scientific Engineering Computation. The recently established center is the National Center for Mathematics and the Interdisciplinary Sciences aiming at promoting collaborations and cooperation between mathematicians and scientists from other branches of natural science and engineering.

Here are the three founding members of the Institute of Systems Science. The institute was founded in the year 1979. The first director of the institute was Kwan Chao-Chih, majored in functional analysis in control systems. He is one of the key persons promoting the development of control theory in China, in the early stages,

in the very early 60s the last century. The second one is Xu Guo-Zhi, majored in operational research and management science. The mathematician Wu Wen-Tsun, a topologist, also majored in Computer Mathematics.

The missions of this institute is to try to be a leading research center in systems science and related mathematics and interdisciplinary research, to be an important consultant center for the government on economic and social development of China, and to be an education institution to train high level researchers on systems science.

Here is the list of main research topics that I classified into two groups. The first group is to understand systems. In this category, the following research activities have been conducted; structural/property analysis, modeling, inference, identification, prediction, signal processing, reliability, stability, emergence, self-organization, etc. In the second category that is to control or regulate the systems, we have research activities in design, reasoning, optimization, adaptation, control, regulation, decision and management, etc.

This institute currently has about 71 research faculties, about half are professors. We also have over 185 graduate students and about 30 post-doctoral fellows, both in research and educational institutes.

There are some divisions belonging to the Institute of Systems Science. I will first mention three Key Laboratories of the

Chinese Academy of Sciences. The first is the Key Laboratory of Management, Decision, and Information Systems. The second is the Key Laboratory of Systems and Control. The third one is the Key Laboratory for Mathematical Mechanization. There are also other laboratories belonging to the Institute of Systems Science; the Division of Complex Systems, the Division of Economic Analysis and Forecasting, the Division of Statistical Science, and also the Division of Pure and Applied Mathematics.

Then I will briefly mention the research activities conducted in three key laboratories over the Chinese Academy of Sciences. In the Key Laboratory of Management, Decision, and Information Systems, we have the following research directions; optimization theory and algorithms, management science, micro-economic analysis and forecasting, knowledge science and engineering, and quality reliability science.

In Key Laboratory of Systems and Control, I myself belong to this laboratory. We have the following research directions: stochastic control systems; nonlinear control systems; distributed parameter control systems; quantum control systems; systems biology; complex systems and networks; multi-agent systems and distributed control; modeling, identification and adaptive control; Boolean control systems; and advanced control of practical engineering problems.

In the Key Laboratory for Mathematical Mechanization we have the following research direction: the first is automated reasoning; symbolic and hybrid computation; geometric computation; discrete

mathematics; coding and cryptography; and engineering applications focusing on robotics, computer aided design, numerically controlled machine, etc.

The Institute of Systems Science is also in charge of several academic journals. The first one is the Journal of Systems Science and Complexity, published by Springer. The second one is the Journal of Systems Science and Mathematical Science, in Chinese. There is also a joint publication with the South China University of Technology, the Journal of Control Theory and Applications, in both English and Chinese. We also have the Theory and Practice of Mathematics, in Chinese.

There are also several national level societies affiliated to the Academy of Mathematics and Systems Science. The first is the Systems Engineering Society of China, actually affiliated to the Institute of Systems Science. Then we have the Operational Research Society, Chinese Mathematical Society also within this academy, and Chinese Computational Math Society. Besides, the Technical Committee on Control Theory of the Chinese Association of Automation (TCCA) also affiliated to the Institute of Systems Science.

The funding situation for the Institute of Systems Science looks like as follows; Major funding from the Chinese Academy of Sciences through the Knowledge Innovation Program, covering basic personal costs, student costs, and basic facilities. We also have grants from competitive sources such as the National

Science Foundation of China (NSFC), the Ministry of Science and Technology of China (MOST). About 30% of the total budget is from these. These cover research equipment, academic exchanges, visitors, and so on.

Here is a partial list of some major grants. The National Technology Research and Development Program of China, State Key Development Program for Basic Research of China, Key Project of the Eleventh National Five-Year Research Program, Foundation for Innovative Research Groups of the National Science Foundation of China, and also some other grants and projects.

Each year the Institute of Systems Science organizes or co-organizes about 10 international conferences and hosts more than 100 visitors mostly from abroad. We visit foreign universities or attend international conferences abroad more than 100 times.

Here is a picture about academic exchange. Many of you know the professor sitting in the middle, Hidenori Kimura-sensei, more than 10 years ago, the year 2003 in March in Beijing, there was a discussion about collaboration agreements between SICE and the Chinese Association of Automation. Professor Dai is the president of the Chinese Association of Automation. Here is Professor Hanfu Chen, also the co-president of the Chinese Association of Automation.

More recently for our academic exchange,

this is last year in Xi'an. There was the signing ceremony for the agreement between the TCCT of the Chinese Association of Automation, and SICE for the CCC-SICE Conference 2015 to be held in Hangzhou, China, next year.

Consulting with the Chinese Control Conference is mainly organized by the Institute of Systems Science. Let me show you some statistics in recent years. Actually it was in the past six years. This is a joint conference of the CDC of IEEE and CCC. We have the highest submissions and the highest attendance in Shanghai. At the CCC, Chinese Control Conference last year we had 2,809 submissions and there are about 1,500 attendees, quite a big conference. So this is one example showing our collaborations.

Besides publishing academic research papers or completing practical research projects, conducting international collaborations, and supervising graduate students, etc., I would like to mention that each year the institute submits about 40 consulting reports to the state council. Let me show you some examples related to the consulting report.

One example is the Grain Output Prediction of China. It was over the past 30 years, the forecasting lead period achieves more than half a year; the forecasting about bumper, average, and poor harvests was correct each year, and was correct in each direction. The average error of forecasting is 1.9%, much lower than those of others using different methods. The

methods used here mainly were nonlinear input occupied output (IOO) + meta-synthesis methods.

The second example is a non-competitive IOO in the global value-chain. Some of you may know China trade structure is quite special: processing trade around 50%, double-counting in traditional trade statistics, and overstating actual trade scale. The value added by processing trade is low. The differentiation of processing trade more accurately estimates value-added by different export type. Design non-competitive IO model with processing sectors. So as a result, the total domestic value added per unit China's export by the new IO model is like this. However, by the traditional one, the result is 0.688, overestimating by about 16%.

Another example is a platform located at the Key Laboratory, the information laboratory at the Institute of Systems Science about early warning and simulation systems for macro-economy, China and the world. It is still in the process of construction and completion.

Next, I will briefly introduce the one society, the Systems Engineering Society of China, abbreviated as SESC. This society was founded in the year 1980 by 21 professors, including foreign professors. Professor Qian Xuesen, I will talk more about him later on; he was an honorary president of this society. Professor Song Jian, some of you may know him; he had been a director of the State Science and Technology Commission. The first director of the Institute of Systems Science,

Professor Guan Zhaozhi served as the first president of this society. And Professor Xu Guozhi, as I mentioned a few minutes ago, has served as a president of the SESC.

The objective of this society is to improve the level of management of the country and to serve the national economic construction and modernization by uniting with the mass of professionals in this field to develop academic exchange in a purpose to promote and popularize the theories and methods of systems engineering and systems science and to extend applications in various fields.

The Systems Engineering Society contains about 18 sub-societies, including the following: Social-Economic Systems Engineering Sub-society, Agricultural Systems Engineering Sub-society, Military Systems, Transportation and Traffic, Financial, Education, Law Systems, System Theory, and System Dynamic sub-societies.

This society also contains six working groups. They are Academic group, International Cooperation, Publication, Education, Youth Development, and Applications and Consulting Committee.

The Systems Engineering Society of China is also in charge of about 10 journals including the Journal of Systems Science and Systems Engineering, published by Springer-Verlag; Systems Engineering: Theory & Practice (in Chinese); the Journal of Systems Engineering: Theory & Practice, by Elsevier; and the Transportation and Traffic Systems Engineering, in Chinese; the Journal of Transportation and

Traffic Systems Engineering, by Elsevier; and some other journals.

I would like to mention then there are also 26 provinces in China having systems engineering societies. That includes Beijing, Shanghai, Tianjin, Chongqing, Guangdong, Jiangsu, Liaoning, Hunan, Hubei, Shanxi, and so on.

The System Engineering Society conducts some activities to promote systems science and systems engineering development in China. That includes strategic study for systems science and system engineering development in the year 2011-2015. That is accurately supported by the China Association of Science and Technology. They also conduct a survey and analysis of disciplines in systems science and system engineering in China, supported by the Ministry of Education; handbooks of systems science and system engineering; textbooks for undergraduates and graduate students for systems science and system engineering.

In recent years, the System Engineering Society also conducts some activities concerning the consulting project. Here are some examples. Low carbon economic development strategies for China, the global value chain and global supply chain management, the reform of the international financial system and China's strategies, and the social safety early-warning systems. That is a partial list.

This society also organizes conferences, workshops, forums, which include the International Conference of Systems Science

and System Engineering (triennially), the National Conference of Systems Science and System Engineering for Young Scientists, and each year the System Engineering Society of China also organizes about 10 international conferences, international workshops, and international symposiums.

The System Engineering Society of China Congress has been held biannually since 1980. Here are two pictures showing the opening ceremony.

Now let me show you a leading scientist, Dr. Qian Xuesen. Dr. Qian Xuesen (or H.S. Tsien) was born in Hangzhou in the year 1911. He passed away at the age of 98. He is widely known as a father of China's missile and space technology programs. He is also a key and the leading scientist for promoting systems science and systems engineering in China. So that is why I am mainly talking about him today.

Professor Qian Xuesen has made great contributions in promoting systems science and systems engineering in China in various aspects including research, academic research, and education in systems science, and organization and popularization, etc. For example, he was the author of *Engineering Cybernetics* published by McGraw-Hill in 1954. I think, this book is now one of the classic books on control systems. After he came back to China from the US, he became the founder and the first president of the Chinese Association of Automation. He is also the honorary president of the Systems Engi-

neering Society of China. In the year 1978, he was the co-author with Prof. G. Z. Xu and S. Y. Wang, published an article entitled "Systems Engineering – a Technology for Organization and Management." This article has been quite influential. He also organized a series of seminars on systems theory. In my opinion, he opened up a Chinese school of complexity studies, and in the year 1990, he with Prof. R. W. Dai and J. Y. Yu published another article entitled "A New Area of Science: Open complex giant systems and methodology." also quite influential in China. In the year 2001 he published a book, "Establishing Systematology." *Systematology* is a new English name. He coined it. This book was republished in the year 2007.

This is the cover of the book.

Let me briefly introduce some of Professor Qian's views on systems science. In his opinion, in modern science and technology, there are about 11 major branches of science and technology, which include natural science, social science, mathematical science, systems science, and cognitive science, etc. The key point is that he lists systems science at the same level of natural science, social science, and mathematical sciences as parallel 11 branches. In his opinion, the systems science consists of three levels. The first level is applied technology. That includes, for example, systems engineering, control engineering, information engineering, etc. The second level is called technological science. It includes, for example, operational research, control theory, information theory, etc. The last level is the fundamental theory level,



fundamental theory of systems. The English name coined by Prof. Qian is *systematology*. In his opinion, the theory still needs to be established.

I will just briefly mention some of the contributions to systematology by Professor Qian. Qian's concepts and methodology has open complex giant systems, the system opens to our side and exchanges with the environment as there are huge sub-systems or components, and very complicated interactions, and also the components of systems are heterogeneous. The methodology also includes from qualitative to quantitative integration; hall for workshop of comprehensive and integrated systems; science and engineering of wisdom in cyberspace.

For his outstanding contributions to Chinese science and technology, the Chinese Government named Dr. Qian Xuesen an "Outstanding Scientist of the Nation" in the year 1991. The Chinese President Hu Jintao visited renowned scientist and founder of China's space technology, Qian Xuesen at his home in Beijing in the year 2008. During this visit, President Hu Jintao said to Dr. Qian Xuesen as follows:



"You have made outstanding scientific achievements. I have benefitted a lot from your works. I'll give you two examples. One is your systems engineering theory. When I was studying in the Central Party School in the 1980s, your theory really impressed me. Now I still remember that you mentioned when dealing with complicated situations, we must start from an overall consideration and think about all aspects. Currently, we are advocating scientific development, which also fits your theory."

Actually, from the early 1980s, Professor Qian and his colleagues made remarkable efforts in promoting systems science and system engineering in China. As a result, many government officers and leaders are familiar with the system engineering concept. I will give you another two examples.

President Jiang Zemin said at the 14th Party Congress in October 1992 that "Establishing and improving the socialist market economy will be a long process, because it is a difficult and complex feat of social systems engineering."

A more recent example is President Xi Jinping who said at the Third Plenary Session of the 18th Party Congress in November last year, he said, "Comprehensive deepening of reform is a complex systems engineering."

Now let me briefly mention systems science as a discipline in China. In the year 1990, the Degree Committee of the State Council of China approved systems science

as a first-grade discipline in China, in supervising students of varying degrees. MS and PhD degrees have been offered in systems science since then. First-grade discipline is like mathematics, physics, and chemistry.

Finally, let me briefly mention some perspectives and plans for systems science and engineering in the future. Here are some of my own perspectives. In my opinion, systems science and engineering could and should play a more important role in the development of economy and society, and so more efforts should be made. Secondly, the interplay between systems science and other branches of natural science and engineering is beneficial to both, and hence the interaction should be enhanced. Thirdly, international exchanges and collaborations are crucial, and we are looking forward to do more in these aspects, of course including future and further collaborations with the Japanese systems science and systems engineering community.

Here I show you just a paragraph in “The National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development” in the section of basic research in response to major national strategic needs – complex systems, disaster formation, prediction, and control. This paragraph says as follows. “Research will focus on the relationship between micro-mechanisms and macro-

phenomena in engineering projects, nature, and socioeconomic complex systems; mechanism and evolution of structure formation, and relationship between structure and system behavior in a complex system; movement of complex systems and associated system mutation and regulation; relativity between behaviors at different scales in a complex system, and new theory and methodology concerning complex systems.” This is one paragraph in our program.

Here are some specific plans for future developments of systems science and systems engineering in China. It is just a partial list and I will only mention the following. First, I think we need more international cooperation, and more international cooperation projects. I would particularly like to strengthen collaborations with Japanese colleagues and societies on systems sciences and systems engineering. So we need to do more in this aspect. Secondly, I think we need more summer schools for young scientists in the area of systems science and systems engineering. We plan to have more training programs for government officials and more training programs for large companies. These two mainly organized by the Systems Engineering Society of China. Finally, we need to have some more influential journals and book series, and so on. Thank you for your attention.

## Guo氏 講演スライド

### Systems Science in China

Lei GUO

Institute of Systems Science  
Academy of Mathematics and Systems  
Science (AMSS)  
Chinese Academy of Sciences (CAS)

1

### Outline

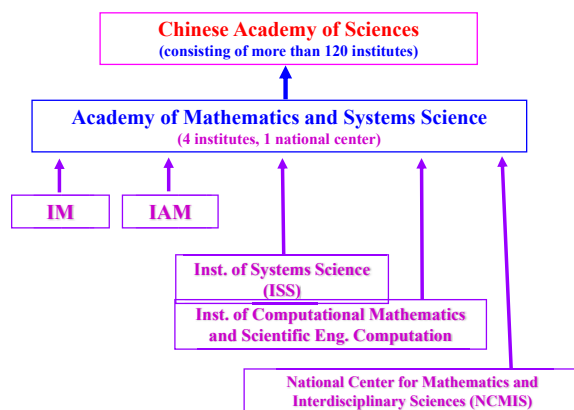
- I. Institute of Systems Science, CAS
- II. Systems Engineering Society of China
- III. A Leading Scientist: Dr. Qian Xuesen
- IV. Perspectives and Plans

2



**Institute of Systems Science**  
Academy of Mathematics and Systems Science  
Chinese Academy of Sciences

3



4

### Founding Members of ISS (1979)



**KWAN Chao-Chih**  
Functional Analysis  
Control systems



**XU Guo-Zhi**  
Operational Research  
Management science



**WU Wen-Tsun**  
Topology  
Computer mathematics

5

### Mission of ISS

- A leading research center in systems science, and related mathematics and interdisciplinary research.
- An important consultant center for the government on economic and social development of China.
- An educational institution to train high level researchers on systems science.

6

### Main Research Topics

- To understand systems
  - Structure/property analysis, modeling, inference, identification, prediction, signal processing, reliability, stability, emergence, self-organization, etc.
- To control/Regulate systems
  - design, reasoning, optimization, adaptation, control, regulation, decision and management, etc.

7

### Faculty

- 71 research faculties
  - 36 professors
- Over 185 graduate students
- About 30 post-doctoral fellows

8

### Research Divisions

- Key Lab. of Management, Decision, and Information Systems , CAS
- Key Lab. of Systems and Control , CAS
- Key Lab. of Mathematical Mechanization, CAS
- Division of Complex Systems
- Division of Economic Analysis and Forecasting
- Division of Statistic Science
- Division of Pure and Applied Mathematics

9

### Key Lab. of Management, Decision and Information Systems

- Optimization theory and algorithms
- Management science
- Macro-economic analysis and forecasting
- Knowledge science and engineering
- Quality reliability science

10

### Key Lab. of Systems and Control

- Stochastic control systems
- Nonlinear control systems
- Distributed parameter control systems
- Quantum control systems
- Systems biology
- Complex systems and networks
- Multi-agent systems and distributed control
- Modeling, identification and adaptive control
- Boolean control systems
- Advanced control of engineering problems

11

### Key Lab. of Mathematical Mechanization

- Automated reasoning
- Symbolic and hybrid computation
- Geometric computation
- Discrete mathematics
- Coding and cryptography
- Engineering applications:
  - Robotics, computer aided design, numerically controlled machine, etc.

12

### Academic Journals of ISS

- Journal of Systems Science and Complexity
- J. Systems Science and Math. Sci. (in Chinese)
- Journal of Control Theory and Applications  
(A joint publication with SCUT)
- Theory and Practice of Mathematics (in Chinese)

13

### Societies Affiliated to AMSS

- **Systems Engineering Society of China**
- Operational Research Society of China
- Chinese Mathematical Society
- Chinese Computational Math Society
- Besides,
- Technical Committee on Control Theory of Chinese Association of Automation (CAA), etc

14

### Funding of ISS

- Major funding is from CAS through the Knowledge Innovation Program
  - covering basic personal costs, student costs, and basic facility costs.
- Grants from competitive sources: NSFC, MOST.
  - About 30% of the total budget.
  - Covering research equipments, academic exchange, visitors, etc.

15

### Research Grants (Partial)

National Technology Research and Development Program of China (863 Program)
State Key Development Program for Basic Research of China (973 Program)
Key Project of the Eleventh National Five –Year-Research Program
Foundation for Innovative Research Groups of NSFC
Key Projects of NSFC
Distinguished Young Scholars Foundation of NSFC

16

### Academic Exchanges

- **Each year**
  - (Co)-Organize about 10 international conferences
  - Host more than 100 visitors, mostly from abroad
  - Visit foreign universities or attend international conferences abroad more than 100 times.

17

### Academic exchanges



March, 2003

18



19

### Statistics on Recent CCCs

Conference	Submissions	Attendees	Dates
27th CCC	2345	700	2008.7.16-18
28th CCC (CDC)	3105	1800	2009.12.16-18
29th CCC	2633	1200	2010.7.29-31
30th CCC	2304	1000	2011.7.22-24
31st CCC	2128	1200	2012.7.25-27
32nd CCC	2809	1500	2013.7.26-28

20

### Consulting Reports

Besides publishing academic research papers, completing practical research projects, and supervising graduate students, etc, **each year about 40 Consulting Reports submitted to the state council by ISS.**

21

### Example 1: Grain Output Prediction of China

**Main results ( 1981-2013):**

- The forecasting lead period achieves more than half a year.
- The forecasting about bumper, average, and poor harvests was correct each year.
- The average error of forecasting is 1.9% , much lower than those of others who use different methods.

**Methods used**  
Nonlinear Input Occupied Output (IOO) + Metasynthesis

22

### Example 2: Non-competitive IOO and global value-chain

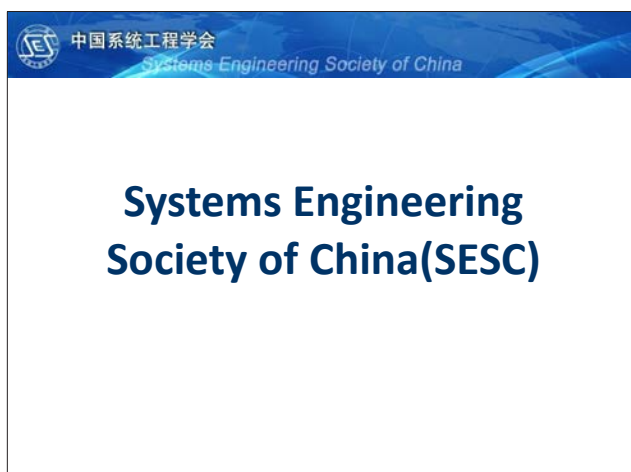
- China trade structure is special: processing trade around 50%, double-counting in traditional trade statistics and overstating actual trade scale. The value added by processing trade is low.
- The differentiation of processing trade more accurately estimate value-added by different export type. Design non competitive IO model with processing sectors.
- Total domestic value added per unit China's export by the new IO model is 0.591 in 2007. However, by traditional IO model, the result is 0.688, overestimating by 16.4%.

23

### Example 3: Early Warning and Simulation Systems for Macro-economy (China and World)

24





25

**SESC**

- Founded in 1980, by 21 professors including

- QIAN Xuesen, Honorary President of SESC (1980-2000)
- SONG Jian, Director of the State S&T Commission (1984-1998)
- GUAN Zhaozhi, First President of SESC, First Director of ISS
- XU Guozhi, President of SESC (1985-1995)

26

## Objective

The objective of the SESC is to improve the level of management of the country and to serve the national economic construction and modernization by uniting with the mass of professionals in this field to develop academic exchange in a purpose to promote and popularize the theories and methods of the Systems Engineering and Systems Science and to extend their applications in various fields.

27

**Systems Engineering Society of China**

➤ **18 Sub-societies, including**

- Social-Economic Systems Engineering Sub-society
- Agricultural Systems Engineering Sub-society
- Military Systems Engineering Sub-society
- Transportation and Traffic Systems Engineering Sub-society
- Financial Systems Engineering Sub-society
- Education Systems Engineering Sub-society
- Law Systems Engineering Sub-society
- Systems Theory Sub-society
- Systems Dynamics Sub-society

28

**Systems Engineering Society of China**

6 Committees, including

- Academic Committee
- International Cooperation Committee
- Publication Committee
- Education and Promotion Committee
- Youth Development Committee
- Applications and Consulting Committee

29

**Systems Engineering Society of China**

10 Journals, including

- Journal of Systems Science and Systems Engineering (by Springer-Verlag)
- Systems Engineering: Theory & Practice (in Chinese)
- Journal of Systems Engineering: Theory & Practice (by Elsevier)
- Transportation and Traffic Systems Engineering (in Chinese)
- Journal of Transportation and Traffic Systems Engineering (by Elsevier)
- Journal of Systems Engineering (in Chinese)
- Systems Engineering and Electronics (in Chinese)
- Journal of Systems Engineering and Electronics

30

### Systems Engineering Society of China

#### 26 Provinces Having Systems Engineering Societies, including

- Beijing
- Shanghai
- Tianjin
- Chongqing
- Guangdong
- Jiangsu
- Liaoning
- Hunan
- Hubei
- Shanxi

31

31

### Activities to Promote SS&SE Development

#### SS&SE Development Programs, including

- Strategic Study for SS&SE Development in 2011-2015 (Supported by China Association of Science and Technology)
- Survey and Analysis of Disciplines SS&SE in China (Supported by Ministry of Education)
- Dictionary, Handbooks of SS&SE (Operations Research)
- Textbooks for Undergraduates, Graduate Students (4 + 6)

32

32

### Activities to Promote SS&SE Development

#### SE Consulting Projects, including

- Low Carbon Economy Development Strategies for China
- Global Value Chain and Global Supply Chain Management
- Reform of the International Financial System and China's Strategies
- Social Safety Early-Warning Systems

33

33

### Activities to Promote SS&SE Development

#### Conferences/Workshops/Forums, including

- International Conference of SS&SE (triennially) (jointly with IIASA and IFSR, 400 participants)
- National Conference of SS&SE for Young Scientists (bi-annually, jointly with NSFC, 350 participants)
- Each year, SESC also organizes about 10 international conferences, international workshops and international symposiums.

34

34

### SESC Congress (Biannual)

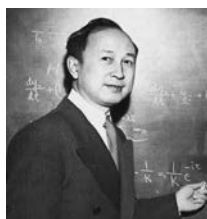
Since 1980



35

### A Leading Scientist ----- Dr. Qian Xuesen

36



**Qian Xuesen (or H.S. Tsien)**

(1911.12.11 ---- 2009.10.31)

- Widely known as the father of China's missile and space technology programs.
- Also, a key and leading scientist for promoting systems science and systems engineering in China.

37

## Qian Xuesen

Made great contributions in promoting systems science and systems engineering in China in various aspects including research, education, organization and popularization, etc. For example,

- Book: "Engineering Cybernetics", McGraw-Hill, 1954
- Founder and first President of Chinese Association of Automation, 1957
- Honorary President of Systems Engineering Society of China (1980--)
- Article: "Systems Engineering --- a Technology for Organization and Management" (with G.Z.Xu and S.Y.Wang, 1978)
- Organized a series of seminars on systems theory, opened up a Chinese school of complexity Science (1984 --)
- Article: "A New Area of Science: Open complex giant systems and methodology"(with R.W.Dai and J.Y.Yu,1990)
- Book: "Establishing Systematology" (2001, 2007)

38



## Qian's View on Systems Science

In modern science and technology, there are 11 major branches of science and technology, which include natural science, social science, mathematical sciences, systems science, cognitive science, etc.

**Systems science consists of three levels:**

- **Applied technology:**  
Systems engineering, control engineering, information engineering, etc.
- **Technological science:**  
Operational research, control theory, information theory, etc.
- **Fundamental theory:**  
Systematology (to be established)

39

40

## Contributions to Systematology

**Qian's concepts and methodology:**

- Open complex giant systems;
- From qualitative to quantitative integration;
- Hall for workshop of comprehensive and integrated systems;
- Science and engineering of wisdom in cyberspace.

41



The Chinese Government named Qian Xuesen an "Outstanding Scientist of the Nation" on October 16, 1991

42



Chinese President Hu Jintao (R), visited renowned scientist and founder of China's space technology Qian Xuesen in Beijing, Jan. 19, 2008. (Xinhua Photo)

43

#### Hu Jintao said to Qian Xuesen:

"You have made outstanding scientific achievements. I have benefited a lot from your works. I'll give you two examples. One is your **systems engineering theory**. When I was studying in the Central Party School in the 1980s, your theory really impressed me. Now I still remember that you mentioned when dealing with complicated situation, we must start from an overall consideration and think about all aspects. Currently, we are advocating scientific development, which also fits your theory".

(CCTV News, Jan. 2008)

44

President Jiang Zemin said at the 14th Party Congress in October 1992:

"Establishing and improving a socialist market economy will be a long process, because it is a difficult and complex feat of social **systems engineering**".



45

President Xi Jinping said at the Third Plenary Session of the 18th Party Congress in November, 2013:

"**Comprehensive deepening of reform is a complex systems engineering**".



46

### Systems Science as a Discipline in China

In 1990, the Degree Committee of the State Council approved systems science as a first-grade-discipline in China, and MS and Ph.D degrees have been awarded in Systems Science since then.

47

### Perspectives and Plans

48

### Some Perspectives

- Systems science and Engineering could play more important role in the development of economy and society, more efforts should be made.
- The interplay between systems science and other branches of science and engineering is beneficial to both, and hence should be enhanced.
- International exchanges and collaborations are crucial, and we are looking forward to do more in this aspects, including cooperation with Japanese systems science community.

49

### "The National Medium- and Long-Term Program for S&T Development" (2006-2020)

- **Basic Research in Response to Major National Strategic Needs ----- Complex systems, disaster formation, prediction, and control**  
 "Research will focus on the relationship between micro-mechanisms and macro-phenomena in engineering projects, nature, and socioeconomic complex systems; mechanism and evolution of structure formation, and relationship between structure and system behavior in a complex system; movement of complex systems and associated system mutation and regulation; relativity between behaviors at different scales in a complex system, and new theory and methodology concerning complex systems."

50

### Plans for Future Development of SS&SE in China

- More International Cooperation Projects
- More Summer Schools for Young Scientists
- More Training Programs for Governmental Officials
- More Training Programs for Large Companies
- Top Journals and Book Series

51

51

**Thank You !**

52

### 吉川弘之氏 基調講演

ただ今のお二方のお話で、Khargonekar 教授は、すべてシステムだということ、システム科学と多分野との関係について大変幅広く、また分かりやすくお話しいただいた。システム科学の重要性というのがこれだけで十分認識されるかと思う。また、Guo 教授は、非常に大きなシステム研究について中国で実績があり、かつ現実問題にすでに多く応用されていることについてお話しされ、ここでもシステム科学なしには現実の問題は解けないということがかなり強く印象づけられた。

私の今日の話は、我々の研究開発戦略センター（CRDS）で行っている社会的期待と科学技術の邂逅によるイノベーションというものについてである。イノベーションというのは、簡単に言うと分析ではなくて、実装、あるいは構成が必要で、そういった意味で一筋縄ではいかない。だから、イノベーションは皆が苦勞するわけである。

我々の行っていることは、まず社会的期待を探索することから始まる。社会的期待とい



うのはあまり科学としては対象になったことはないが、そういったものを掲出する、発見する。そういうサイエンスの分野をまず創る、これはもしかしたら社会科学の1つの大きな分野になるかもしれない。一方、科学技術の側では個々の知識というのをまず俯瞰した上で、どういうものを一緒にすれば社会的な意義、あるいは社会的な機能、働きをもつようになるか、という検討が行われる。そうすることによって、科学技術の側で議論した一種の機能、これを機能的ネットワークと言うが、それと社会的期待をあわせたところにイノベーションというものができるといえるという考え方である。

伝統的なイノベーションというのは破壊的に壊す、新しいものを創ればいいのだというもののだが、現代のイノベーションはそうではなくて、様々な拘束条件、たとえば各国がもっている拘束条件、あるいは人類がもっている環境に対する拘束条件など、それら拘束条件の狭い中でイノベーションしなければならない。現代のイノベーションというのは伝統的な、経済学でいうイノベーションとはもはやまったく違うものになっているということが非常に重要な観点である。その中で、先ほども申し上げたイノベーションの中心というのは構成であり実装であるが、ここの部分がどうもあまり科学的ではない。どうも直感的

である。イノベーションも研究として、我々は研究課題を創ろうとしているわけだから、研究としてやるとすれば、一体何が必要なのかということになる。

非常に古い話だが、デカルトという科学者で、分析ばかりやっているのだと非難されるが、実はそうではない。物事を理解するためにはまず問題がある。問題をできるだけ細かい、しかも問題をより多く解くために必要な小部分に分割する。これが俗に言われている分析である。1つ1つになると非常に分かりやすくなり、それを明らかにすることで物事を理解する。

これを分析というが、実はデカルトはこれだけを言っているのではない。デカルトはその次にこう言っている。実はその問題の理解をするには4つの規則があると。まず分析し、それから総合してみろ、と言っている。総合というのは、得られた細かく分けたものを1つずつよく理解できたら、今度はそれをある視点で組み立ててみなさい、ということ。いろんな視点で組み立ててみる。そうすると、どういう要素がつながっていたかが分かる、そこまで理解しなければ、物事を理解したことになりませんよ、ということで、分析と総合という問題に同じ比重を与えているのである。

ところが、残念ながら現在の科学というのは分析にばかり重点を置いて、総合の科学がない。これはせっかくデカルトが古い時代にこういうことを言ったのに、後の科学者は非常に怠慢であったと私は思う。どういうわけか私はこれにこだわっているわけで、自分が偉いというわけではないが、これをもっとたくさんやるべきではないかと考えているということが今日の基本である。

ごく簡単に言うと、これは現実を理解する、





あるいは自然を理解するでも構わない。現実を理解していろいろな性質が分かってくる。ある見方で見るとこういう性質が分かる、別の見方で見れば別の性質が分かる。これをディシプリンと言う。我々はこのディシプリンというものをたくさん同じ対象から作り出し、それで物事を理解する。これはちょうどデカルトの言う小部分に分けてやるという話と同じ。ところが、こうしてたくさん集まってきたこの知識、この知識を使ってこのリアリティと同じものができるかという、これはできない。作る方法がない。それはデカルトの言う、順序づけて並べるという方法論が我々としてはまだ十分できていないからだ、ということなる。

このことについては科学哲学者たちの長い議論があつて、演繹だとか、アブダクションだとか言われる。アブダクションは遡源推理とか、あるいは仮説形成とかと言われるが、これは非常に間違いやすいものである。対象から知識、知識から対象へ。これは行きと戻りだが、実は同じではない。これを私は思考過程の不可逆性と呼んでいる。思考過程は戻れない。分析はできるけど戻って来られない。作るのは難しい、分かるのは易しい、ということ。別の言い方をすると、人間の思考過程の非対称性ということもできる。こういった、何か非常に嫌な、嫌という言葉が悪いが、難しい問題に実は科学はぶつかっている。このことをよく考えなければならない。

分析の中には実験をし、測定し、理論を作るということが含まれる。科学論文は分析でほとんど出てくるが、そうではない、もっと難しい話がある。ニュートン力学を作ったのは、サイエンティフィック・ペーパーかと言えるかという、そうではない。あれは1つのドグマである。後世の人たちがそれをずっと遣って、ようやく証明する。こういう問題

がもちろん科学の根源にあるのです。

実際世界があつて、どういう訳かある種のものを集めてくる。直感的に。この直感的に選んできて、その中にどういう事実があるかということをとくさん数え上げ、その事実を説明するものを仮説として作り出す。これが実はシンセシスでアブダクションである。分析ではない。アブダクションである。アインシュタインはこの過程を、「知的な愛だ」と言った。これは論理的な過程ではない。アインシュタインは自分の理論を「論理的過程で作ったのではなくて、知的な愛で作ったのだ」と言っている。後からいろいろなベリフィケーションできて、仮説が時代を経て明らかになってくる。これがロウ (law) と言われる。ロウは人間が作るもので、真実かどうか分からない。

結局ニュートンはいろんなものを集め、その集め方が立派であつた。リンゴの落ちるのも、星の運動も、実は同じ原理だと考えた。これは大変怖い話で、片方は神学に属していたし、他方は農業、そんなものを一緒にしたというのは、当時してみればいわば権威に反逆する行為だったが、そうやった結果、ニュートンの三法則はアブダクションで導き出すことができた。

二重らせんもドグマ、セントラルドグマである。ワトソン、クリックが作ったアイデアのこと。決して真実かどうかは分からない 1つの仮説として提案され、それに従って行った研究がばーっと広がってきて、ようやくクリックの考え方のドグマというものが次第に1つの定説になっていった。彼らは初めセントラルドグマと言った。ドグマというのは独善的な考えということ。ニュートン力学も、クリックの考えも独善的であつた。

ただし、ごく偶にしかこういう研究は出てこない。ニュートン力学ができれば、たかさんの理論ができる。気候学もみんなニュートン力学で作ってしまう。生物学も同様。いろんな研究が今行われているが、皆このドグマに従っている。新しいドグマはなかなか出てこない。やはり何十年に1回くらいしか出てこない。数々ある研究の論文というのは全然ロウとかドグマを作っているわけではなく、ただ説明しているにすぎない、と言ってはいけませんが、その説明も大事なわけでも、大きな発見、ディスカバリーというものはそう多くはない。

ところが、不思議なことにエンジニアがやるデザインというのは、実はこのドグマを作り出すのと同じ方法論である。実はその中にアブダクションという行為が入ってくる。社会的期待というものがあって、その期待ってどういうものだろうかと分析が行われ、この分析によってこういう性質があればいい、ああいう性質があればいい、と分かる。ではこういう性質を集めれば「もの」ができるのかというと、これはできない。作る過程でアブダクション、これは経験であったりプラクティスであったりするが、そういう非常に原始的な経験主義的なものによって「もの」を作っていく。そして、できるのは **hypothetical** な理論、ドグマ、仮定的なソリューションというものである。それが世の中で淘汰されてイノベーションになったのである。悪いイノベーションはすぐ消えていく。決めるのは社会や、実際にそれを使う人。そういった意味で、まさに進化論的に社会に定着するグッドイノベーションというのができる。我々はこれをやるのである。これというのはまさに、我々はニュートンとかクリックとかと同じようなことをしなければイノベーションはできないのかというと、気持ちが引き締まってくる。

ごく簡単な例で説明する。液体を中に入れることができ、それを保存できて、それから飲むことができるという、こういう小さな社会的期待があったとする。非常に単純である。1つ1つはディシプリンがある。入れるための流体力学みたいなもの、立たせるための静力学もある。そういう既存のディシプリンで解けば、こういうものがいくつも出てくる。そうやっていろんなアイデアが出てきて、こっちはイノベティブだけど、結局そっちのほうが飲めるからいいということになる。こういう非常に単純なことの中に、非常に本質的な難しさというものが入っている。

そこで、知識って一体どうなのかということ了我々は探りに行かなければいけない。アブダクションという言葉を作って研究したチャールズ・サンダース・パースという18世紀の科学者、物理学者で、のちに科学哲学に転じた人がある。彼によると、科学は図のように発展していく。現実社会には、彼はサイキカル・テクノロジー(**Psychical technology**)と言っているが、社会的なルールとかお行儀とか、そういうものが存在する。他方(右側)は、ものを作る、手作りでいろんなものを作る、マニファクチャーがある。いずれにしてもこういうテクノロジーというのは科学なんてものがあるずっと前から存在していた。それを元にして科学が成長してくる。

その成長の仕方は、**Psychical**側で言えば、社会学がまず生まれて、その社会学がやや記述的な学問で、それが分類学的な学問に進化していく。それが言語学であり、人類学である。さらに法則的な学問に進化して、これが心理学だとパースは言った。また、当時の理系の学問では、地質学とか地理学とか天文学というのはディスクリプティブであって、分類学がケミストリーとバイオロジーだった。そしてノモロジカル(**nomological**)がダイナ

ミクスだと。

その次が問題で、これは非常に学問的な感じがするが、メタフィジクス(metaphysics)があると言った。メタ形而上学である。これは何かというと、よく考えてみるとよく分かるのだが、サイコロジーとダイナミクスというのは来たけど、この2つの関係は分からないわけである。ということは、たくさんのディシプリンを作って、そのディシプリンの中では整合的な理解をしているけれども、そのディシプリン同士のことが分からない。これがものを作るときのインテグレーション、イノベーションの敵なのである。いろんな専門家がいますが、その専門家が仲良くない、こういうことが問題だと。しかし、メタフィジクスというのはすべてを扱う。すべてを扱うディシプリンというのはない。何々分野の哲学というのはなく、哲学というのは全部扱うよね。ただし、哲学の欠陥というのは、現実社会と対応がない。すべて概念の間の関係である。それを超えていくと彼はマスマティクス、数学というのが存在すると言ったのである。しかし、これはまったく現実との関係をなくしてしまう。しかし、現実を反映する可能性をたくさんもっている。そういう学問の系譜というのをパースは述べた。

アブダクションとは一体何か。まず、パースの例を使って。演繹は、「この袋に入っている豆は全部白い。これらは、この袋から出し

た豆である。だから、豆は白い」となる。これは演繹だから間違いがない。ところが、仮説というのは何かというと、「この袋に入っている豆は真っ白だ。今ここにある豆は白い。だから、この豆はこの袋から出てきたのではなかろうか」となる。しかし、この豆は別のところから出てきたかもしれない。そこには間違いがありうる、そういう推論なのである。これが実は科学を作り出す根源である。ディスカバリーというのはこれに従っている。ディスカバリーの先人ニュートンとかワトソン、クリックとか居るが、実は日常的にイノベーションをやろうとしている人は同じ難しさにぶつかっているのだ、ということを認識する必要がある。

アブダクションとデザインが似ているというのはなぜか。これは先ほどの豆の例と似ているが、設計でいうと、「どんなファミリーも、グッドハウスに住めば気持ちよく暮らせる。このハウスはグッドハウスだ。だから、結果としてある1つのファミリーが楽しく暮らしている」が演繹。では、「結果として1つのファミリーが楽しくそこで暮らしていた。ではこのハウスはグッドハウスなのだ」と言えるかどうか。たまたまこのファミリーがこのハウスに合っていて、ほかの人には合わないかもしれない。たとえば、いわゆるアパートを造るときに、誰にでも楽しめるような部屋割りを作ろうとするときに、この考え方は間違えるかも知れないということである。これはちょうどニュートン力学を作り出したのと同じ論理体系をもっている。

実はこのことについてはいろんな哲学者がいろんなことを言っていて、カール・ポパーはこう言っている。「すべての発見というのは非論理的、非合理的な要素を含んでいて、何か分からないけれども、創造的な直感というものを含んでいる」、と。カール・ポパーは激



しく科学を論じた人だが、「このディスカバリーという問題は私の議論から外してしまいます」、と言った。あのカール・ポパーが、「これは難しいからやらない」と言ったのである。つまり、これはいわゆる論理的に扱えない。

そして、アインシュタインも同じことを言っている。先ほども紹介したが、「自分の物理学というのは、決して論理的に道筋を追って到達したものではないのだ、そうではなくて、インテリジェンスを愛する、知を愛するという心が動機になってやったのだ」、とアインシュタインは言った。さらに、エルンスト・カッシーラーという、これも非常にごつい哲学者だが、この人も言っている。「これは何かイントリンシックなストラクチャーがあるはずだ」と。物理学、現実の星を観たり、あるいはワトソン、クリックまでいくという、その道筋は何かに導かれてそうになった。しかし、その何かを彼は言うことはしない。それが何か直感的なものということ。

こうやって偉い哲学者たちが諦めたこの問題を、私たちはイノベーションの科学と言ったときに、これをチャレンジするということになる。だから、大変難しい問題に取り組むのだという、まず覚悟が必要。実は、ご存じの方も多いと思うが、アブダクションという絵がシャガールの絵にある。これは人さらいの絵。チャールズ・サンダース・パースがアブダクションという言葉を使ったが、彼もとうとう「うまく言えない」と。「何だか知らないけど、訳も分からずに何かひっばられていくのだ」と。こういう意味でアブダクションという言葉は論理学に持ち込んだのである。アブダクションというのは、元々は人さらいという意味なのである。我々の、常人の理屈では分からないということである。

ここでしばらく、では、ものを作るということとは一体どういうことなのかということ

を考える。これは細かい話なのでちょっとお付き合いいただきたい。これも私の研究なのだけれども、要求があって答えがある。そこへいく道筋というのは数々ある。その思考過程の単位というのはいろいろ分かっている。たとえばディノテーションとかコノテーション、内包とか外縁。あるいは理論とか分類とか、いろんな思考があるが、その思考の関係というものは図のようになっていて、道筋というのは無数にある。

ここでまた哲学者が出てくるのだが、レヴィ＝ストロースという文化人類学者がいた。彼はごくわずかな部分だが、ものをつくるということに興味をもっていた。非常に古い村をずっと守って近代科学に毒されなかったような一種の種族、彼らはブリコリュールのパスを通っている。ブリコリュールというのはものを張り合わせて作る人ということ。ブリコラージュという言葉があるが、そういうふうにしてものを作る人。一方、エンジニアはそうではなくて、思考の中に一種の論理体系を作ってもものを作る人。こういうことである。ブリコリュールとエンジニア、この2つだけ取り上げるが、我々はエンジニアを狙いたいのである。エンジニアリングとしてのイノベーションをやりたいということになると、どういう知識をもっていればこのパスを通れるか。

これが大事なのである。要求の集合がある。これは単なる集まり。その要求を実現するためにはこういう性質がいてと言っていくと、電氣的な性質だったり機械的な性質だったりして、異なるディシプリンが必要になる。異なる多数のディシプリンを1つにまとめて、臨時領域と呼ぶ。この臨時領域をする、これがアブダクションである。本当言うと、この科学が欲しいのである。多くの機械工学と電気工学を一緒にした結果、新しいディシプリンができて、そのディシプリンというのは



計算が可能だから、その中で最適解を見つける。こういうことができればいいのだけど、これがうまくできないのである。ここに結局我々はぶつかっている。イノベーションの難しさというのを。これが現実のイノベーションの難しさになるのである。

簡単に言えば、ブリコリュールの方はあるものを使う。「家を造れ」と言ったときに、要するに人々を隔離して住まわせるとなったときに、ここにあるのは何かというと、箱が合って、ドアがあって、基礎があって、傘があって、構造があるとする。これらを寄せ集めれば家ができる。しかし、どうもこれは不細工な家になる。しかし、エンジニアの方でいくと、分類していくと、こういう構造ができてくる。要素的な機能の間の関係というのができてくる。この関係と要素的な構造と色々な科学的知識を使うと、模型ができてきて、それをいろいろ最適化すると家ができる。この方がいい家ができそうである。

このようにして、ブリコリュールとエンジニアとでは、確かにエンジニアの方がはるかに最適なものができるということが分かる。そのためには、プロビジョナルなディシプリンというものを作らないといけない。これが非常に難しい。だから、イノベーションの難しさというのは、こういう知識を我々がもっていないということなのです。

先ほどの可逆性に戻るが、可逆性というのは、機能を与えれば、その機能を実現する属性あるいは性質が分かる。性質を与えればこう機能する。1対1対応になっているということ。数学的な1対1。簡単に言えば、定量的な、関係式が書かれているということである。この状態になれば、両者の間の可逆性が回復する、可逆性ができる。しかし、多くの場合、その可逆性ができない。なぜかという

と、これはまた面倒な話で、今日は時間もないのであまり話さないが、要するになぜニュートン力学が可逆的なのかということになる。

ニュートン力学というのは可逆的で、ものをある初速度と角度で投げれば何メートル飛ぶ、というのが分かる。では、何メートル飛ぶというと、その欲しい距離を実現するためにはどういう形で投げればいいのか。それは実は解は2つになるが、いずれにしてもどちらか選べる解が出るから可逆的である。投げれば距離が分かる。距離を実現するためにはどういう投げ方をすればいいかが分かる。実は、物理学や多くの科学は可逆的になるように作られた。可逆的になるようなものをディシプリンにしたのである。だから、当然、科学というのは皆、定量化し、立派な数式によってできる。マクスウェルの方程式も同じである。アイテムの電気を、ほかのものを全部捨てて、電気だけを抽出してみると、あの式ができてくる。マクスウェルの方程式にバネ定数は入ってこない。捨ててしまう訳だから。一方、材料力学のバネ定数の中に電気は入ってこない。そういうふうに、自分でディシプリンができるものだけを作ったのである。

ところが、ものを作る我々、イノベーションというのはそうはいかない。自動車を造りなさい、と言われたときには、その自動車というディシプリンを作れば自動車を最適化できるが、自動車は定量化できるようなディシプリンにならない。なぜなら先に拘束条件が大きいから。科学者というのは楽な人種で、拘束条件なしにディスカバリーをしている訳である。ところが我々はそうではない。私は工学だが、雁字搦めの拘束の中でルールを使わなくてはいけないので、非常に難しい。

しかし、実際にあるものもある。自動車工学には、立派な先生もいらっしゃる。分厚い

本になっている。たぶんそれはパースの分類によればディスクリプティブ、記述的な科学と言わざるをえないだろう。全定量的にはなっていない。でも、それでもいいからそういう科学を創るべきなのだ。それをやらないで、いたずらに創ろうとしてはいけない。

もう1回、図（スライド p28）に戻る。現代科学に置き換えてみると、文化人類学が記述科学の辺りにあって、社会学とか行動科学とはかなり分類学になってきて、エコノミクスはまさに法則科学になって物理学と対応できるようになっている。そうするとだいぶ現代科学になってきた。どこで可逆性ができるのかというと、やはりマスマティクスになれば、これは方程式の問題だから、もちろん解がたくさん出てくるといことはあるが、基本的には可逆である。しかし、デザインをするときにはこの左右両方を一緒にしないといけないということで、結局うまくいかない。そこで何が必要かということ、今日の結論になる。

どうも我々が、チャールズ・サンダース・パースがメタフィジクスと言っていたものは、現代的に言うとシステム科学なんじゃないかということである。メタフィジクスというのはすべてのものを扱う。哲学、形而上学とか。人間も扱うし、ものも扱うし、天体も扱う。そういったこと全部ひっくるめて1つの大きなセオリーにする。ただし、1つ1つが現実とどれくらい定量的にあっているかということとは排除している。すなわち、形而上学というのは、現実との対応はないが、我々が認識して頭にもっている概念の間の構造を完全に言い尽くしたものである。

しかし、それではものはできない。そこで、形而上学の1つ1つの概念に対して現実存在というものを結びつけたものというのが必要

になる。これがシステム科学。システム科学というのは、最初の Khargonekar さんのお話のように、あらゆる分野を対象にしている。しかもそのあらゆる分野の間の関係を論じようとしているから、まさにシステム科学というのはメタフィジクスの現代版なのである。

Khargonekar さんが説明するのにあれほど時間がかかったというのはたくさんの分野があって、しかしどの分野も皆断ることなしに皆システム科学の中に吸収している。これは、メタフィジクスの非常に強権的な態度に非常に似ている訳で、システム科学者というのはなんでも自分のものだ、と言っているということ。しかし、それは非常に現代科学の問題点を突いているわけで、現代科学は、俺は物理学、俺は化学、俺は生物学、と、みんな分かれてニコニコしているのだけど、それではイノベーションはできない、という大きな問題に勇敢に立ち向かっているのがシステム科学者なのだと、私は信じています。

そうすると、皆システム科学化しないとダメになる。そうしないと可逆性が回復しない。たとえばこの力学もダイナミクスも、もはや分かれてしまっている。流体力学とかなんとか力学とか、それらはなかなか一緒にならない。ここで、システミックセオリーというものを使う。ごく簡単に言うと、内燃機関をとってみると、当然いわゆる動力学が入り、それから材料も入るし、流体もあるし、熱もあるし、燃焼理論もあるし、制御もあるし、信頼性もある。こういったものがたくさんある。それらを全部同時的に満足しなければイノベーションは実現しない。それは何なのだろうか。それを私はバンドリング・サイエンス、そういうものを全部ひっくるめてやる科学と呼んでいる。それは確かに概念としてはある。形而上学だったらそれでもいいのだが、それでは事はすまないで、そのバンドリング・サイエンスの1つとして、システム科学とい



うものが可能なのではないかという問題になってくる。

そうすると、このシステム科学を使って、コンバッション・エンジンについての1つの教科書が書けるのではなかろうかということになる。結局こういうこと。ちょうどルネ・デカルトと同じ話になるのだが、「1つのものがある。細かく分けて1つ1つの要素におかれた性質が分かった。その性質を寄せ集めると、これがもっている機能と同じものになった。このようにものの集まりとしてのフィジカル・ストラクチャーと、機能の集まりとしてのファンクショナル・ストラクチャーができれば、本当に物事を理解したのだ」ということが分かる。そうすると今度はその逆をする。「まず、結果として出てくるのは知識。この知識を使って、機能的な構造図を書くことができる。1つ1つはいわゆる要素的なディシプリン。熱力学だったり、経済学だったり、これらディシプリンは可逆的である。そのリバーシブルのままずっとおいておく。またその関係式というのを使うと、現実のものができる。これはイノベーションになる。機能的な要求が存在するものになる。世界の、社会の期待がそれを満たす1つのシステムになった」ということである。「こんなことができるのか」というと、それはもうすでに先ほどのお話にあった。Khargonekar 先生のお話にも Guo 先生のお話にもあったの。そういうことを書けるのだということである。

実は歴史的に言うと、1930年代から60年代にいたニコラウ・ラシェフスキーという、非常に苦しんだが素晴らしい研究者が、機能のシステム図を描くことができると言っている。図(スライド p32)は生物についてである。生物には食物に接触するという機能、それを消化する機能、吸収する機能、排出する機能、そして身体として合成する機能などの、

要素機能をたくさん持っている。それら要素機能がいったいどういう関係でできているか、それらを結びつけることをした。1つ1つが機能の要素であり、たとえば消化する機能は一種の化学現象だから、それは方程式で書ける。そうすると、どういうものがそこにあればいいかということができる。あるいは機械でそういうものを作ることができるかもしれない。要素は機械でできる。しかし、人間はできない。あるいは生き物はできない。これは一体何なのか、ということ。

彼はいろんなことを研究して、これを数学にして、これをものに変換するという写像をたくさんやったのだが、ごく簡単に言うと(スライド p33)、「こういうループが存在しているとき、これは生物の基本である」と、こう言ったのである。実は彼はこういう最小の生き物を探し出して、プリモロイドとした。原生生物みたいなものである。それから進化論的に作っていくというのを数学的に解いたのである。それがどう役に立つかはまだ分らなかったのだが、私たちはこういうことができたのだということに力づけられている。

たとえば、今、私たちのセンターでやっている、強靱で持続可能な社会の実現に向けた統合社会インフラ管理システムの研究である。現代の非常に重要な問題なのだとすることで、社会的期待の中から掘り出した。要するに、インフラというものをどうやってうまくメンテナンスしていくのか。これは現代社会の重大問題なのだとすることが分かる。

さて、それではどういう研究をすればいいのか、これから導き出すことができるのか。ということで、木村上席を総括責任者として、こういう人たちがずっと議論してものを作ってきた。今はプロジェクトを提案しようという段階にきている。インフラのメンテナンスにはたくさんのことがある。平常時でも

こんなにたくさんある。何か災害が起こった場合にもいろいろある。

平常時だけで説明すると、様々な計画をしておかなければいけない。現実には補修する、運用する、点検するということも必要。いらなくなったら捨てる。つまり、とても1つのディシプリンには収まらない。多様な知識が全部集まってインフラのメンテナンスということができる。今は1つ1つの専門家がやっている。インフラを造る人、メンテナンスは別の人。廃棄するときは廃棄業者に渡してしまう。皆ばらばらにやっている。それではいけない。これを全体として考える。それがまさに今日の言葉の「システムとして考える」ということである。

いわゆるメンテナンスに必要な視点と言うのは一杯ある。これは皆1つ1つディシプリンになりそうなものを書いている。おそらく何百と並ぶだろう。それらが、それぞれの関係をもつ。すなわち、こういう性質を与えれば、こういう機能が出てくると。たとえば

コストの点であればこういう計算ができる。コストだけ考えているならできるけれど、このコストを誰が負担するのかということ、これはまた別の問題、社会的な問題になってくる。

では、メンテナンスの理論とはどういうものか。物理的な理論とどういう関係があるのかというのはまだよく分からない。しかしながらたくさんの知識がある。それはディシプリンなり、領域的な知識である。その領域的な知識というものがこの図。これを基にして、こういうものが造りたい、こういう機能が必要なのだということをラシェフスキー流に機能のシステムとして表現する。それからこの知識を使って、性質の集合として出してくる。これが解である。イノベーションである。この仕組みを使って何かできるのではないかとというのが、このプログラムの目標である。作った方々、ちょっと違う感があるかもしれないだろうが、私はこう思っているわけで、まさに今日ご紹介するのに相応しいプロジェクトなのかな、と思ってご紹介させていただく。ご清聴ありがとうございました。

## 吉川氏 講演スライド

**Systems Science and Innovation**  
Systems science for synthesis(design)

**Hiroyuki Yoshikawa (CRDS)**  
International S/T Symposium on  
“Necessity of Systems Science for Innovation”  
CRDS/JST February 21, 2014

1

**René Descartes**  
「精神指導の規則」: 規則第5、「方法序説(1637)」: 四つの規則

1. **明晰性の規則**: (明晰かつ判明に精神に現れるもののみで判断)
2. **分析の規則**: “私が検討する難問の一つ一つを、できるだけ多くの、しかも問題をよりよく解くために必要な小部分に分割すること。”
3. **総合(結合)の規則**: “私の思考を順序に従って導くこと。そこではもっとも単純で最も認識しやすいものから始めて、少しずつ階段を上るようにして、もっとも複雑なものの認識まで登ってゆき、自然のままでは互いに前後の順序がつかないもの間にさえも順序を想定して進むこと。”
4. **枚挙の規則**: “すべての場合に、完全な枚挙と全体にわたる見直しをして、何も見落とさなかったと確信すること。”  
(方法序説、岩波、谷川多佳子訳、\*HY)

**性質**  
a: 電気的性質  
b: 機械的性質  
c: 熱的性質  
d: 化学的性質

**機能**  
a: 機能種  
b: 有用性  
c: 保存性  
d: 美的性質

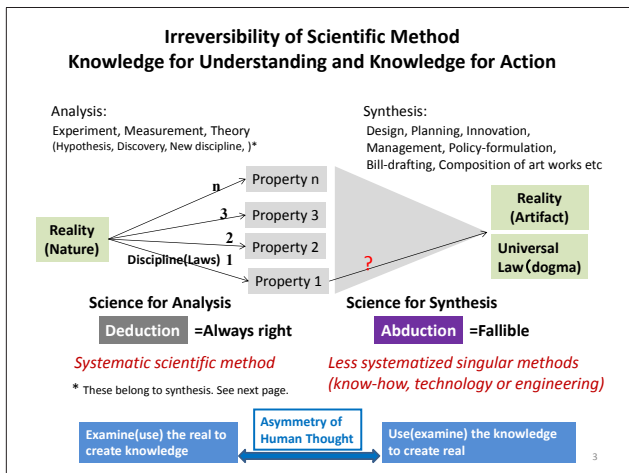
**問題(対称)**  
**分析の規則**  
rule of analysis

**枚挙の規則**  
rule of listing

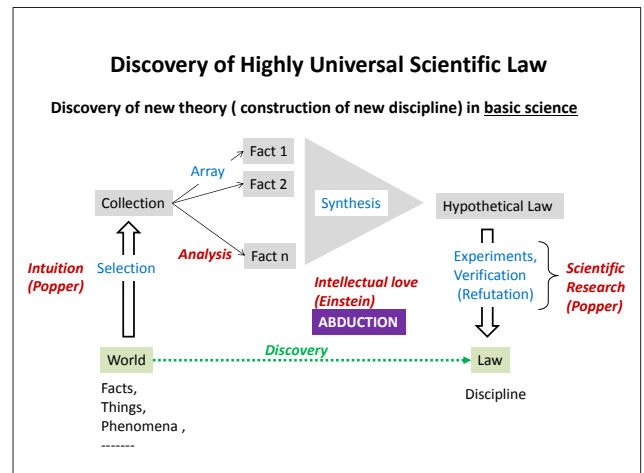
**結合の規則**  
rule of coupling  
(要素間の関係)

**現代科学の偏向**: 現代科学では、総合規則は分析規則に比べて未開拓である。

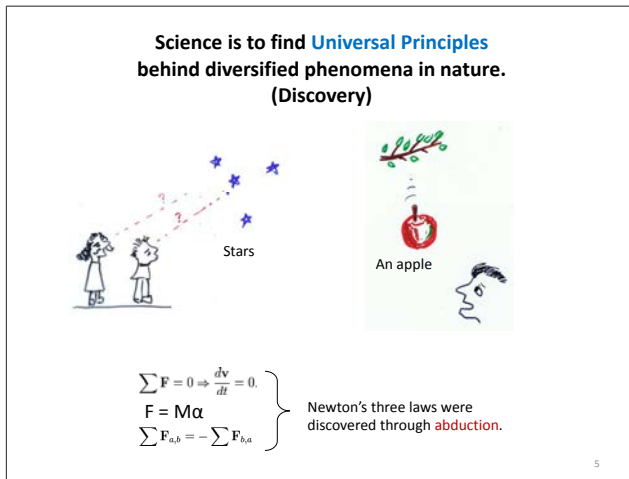
2



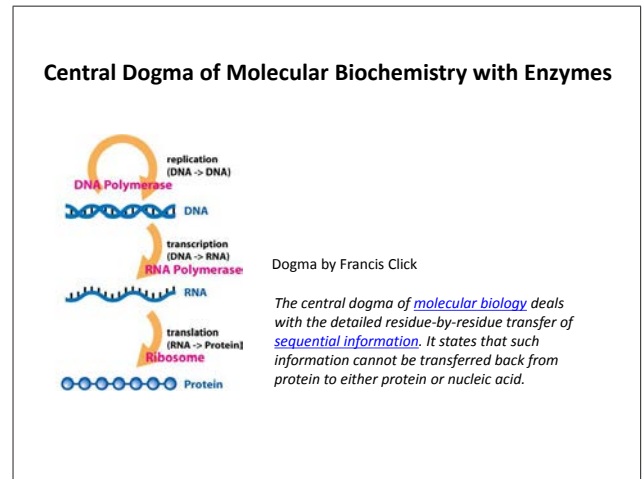
3



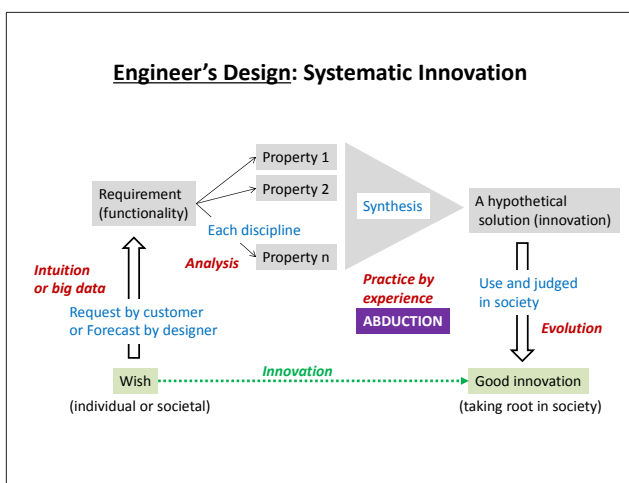
4



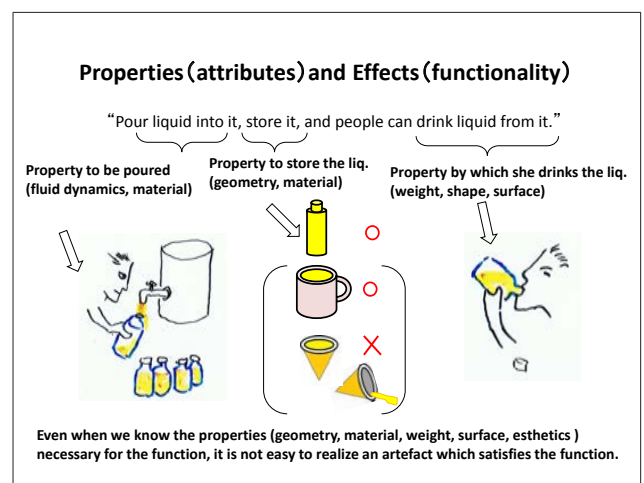
5



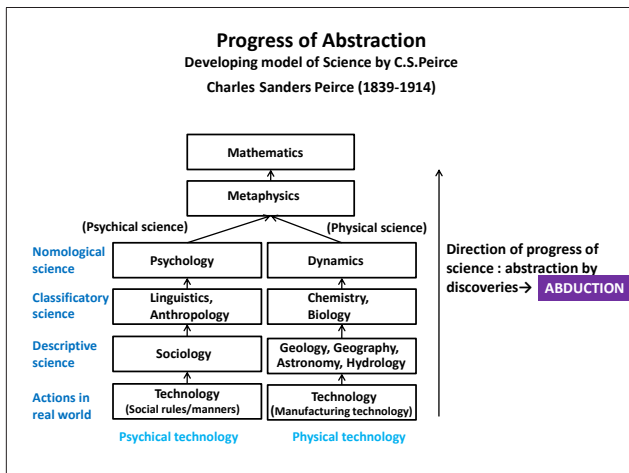
6



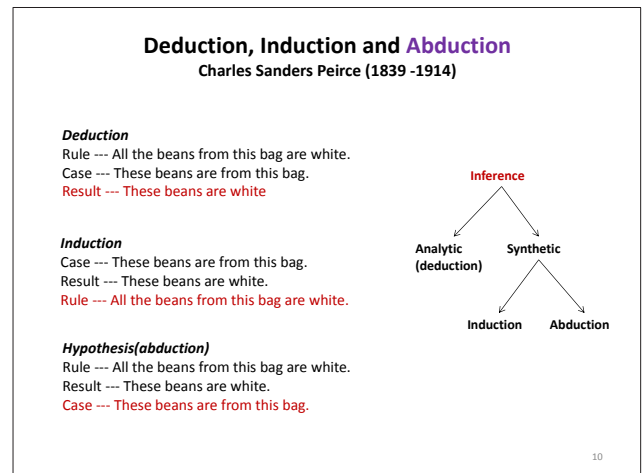
7



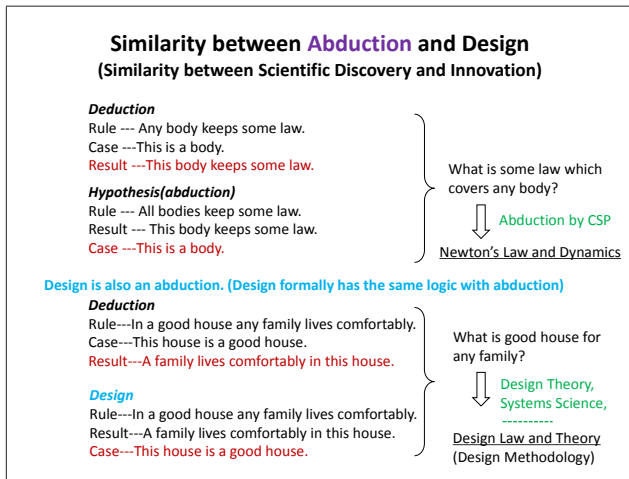
8



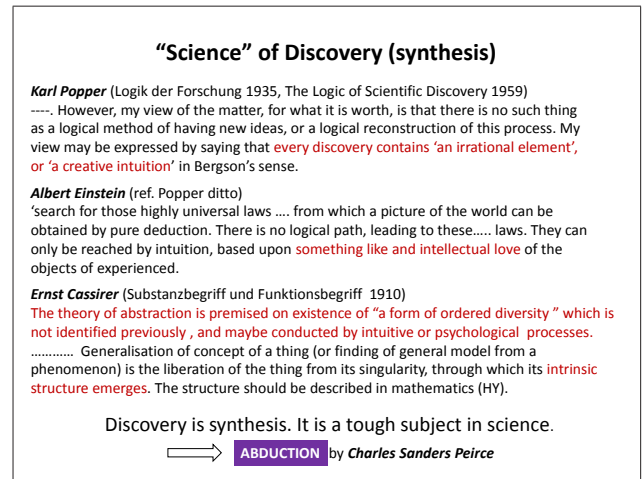
9



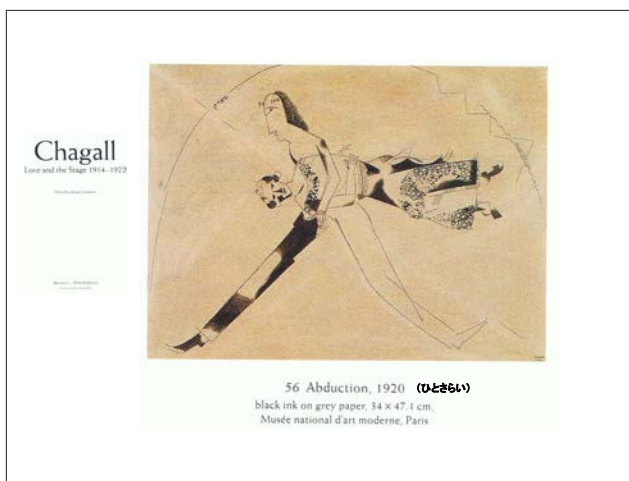
10



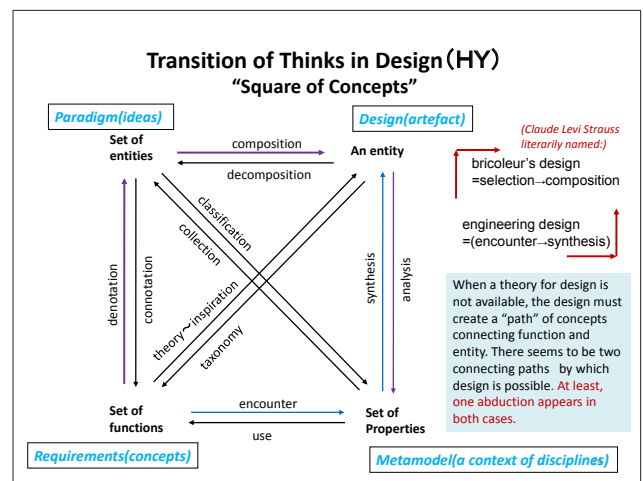
11



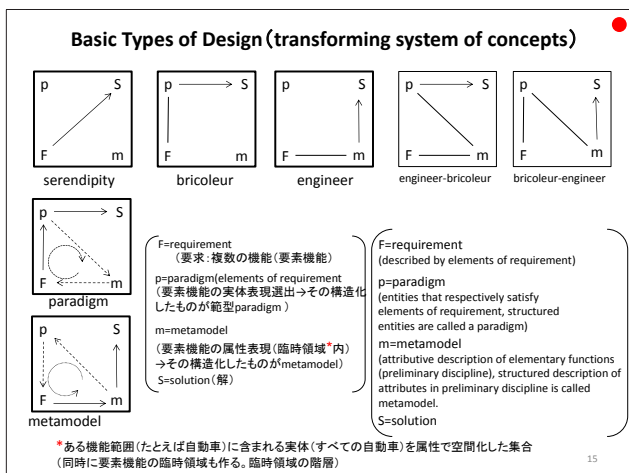
12



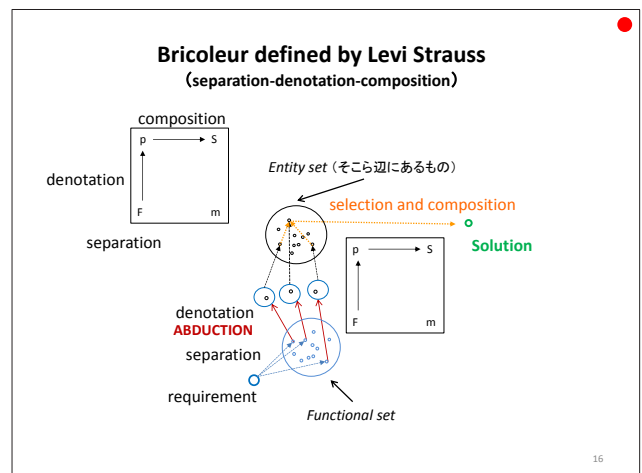
13



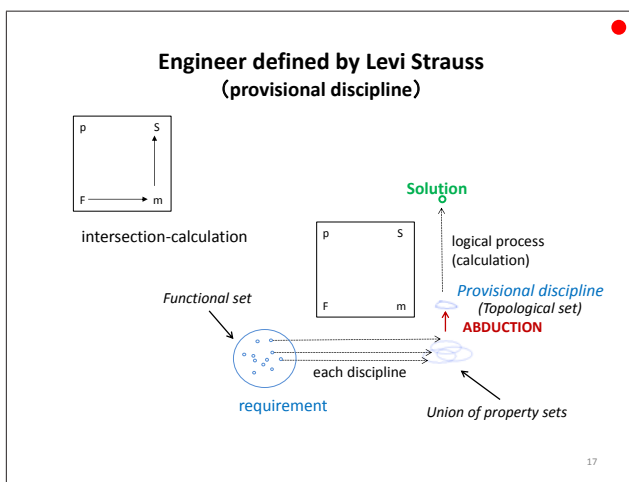
14



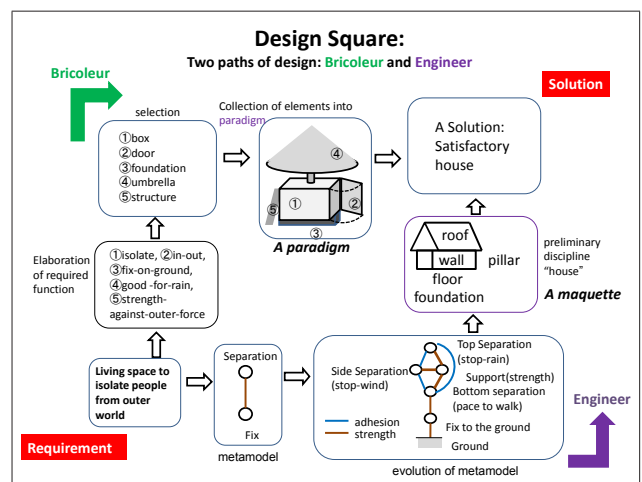
15



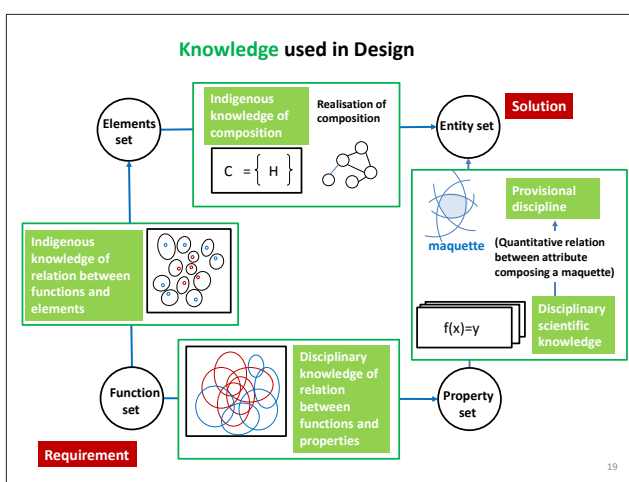
16



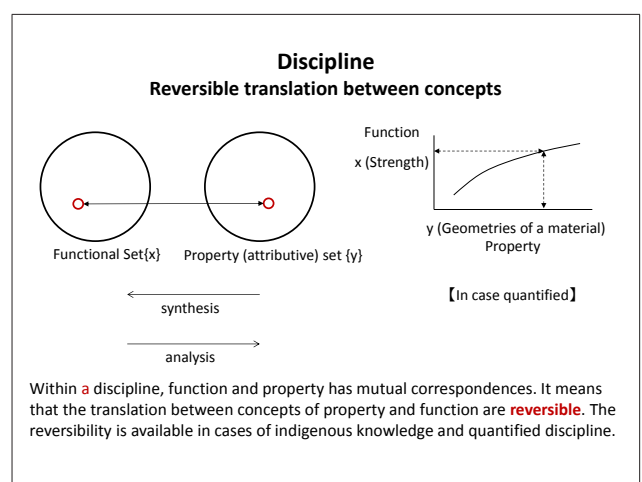
17



18

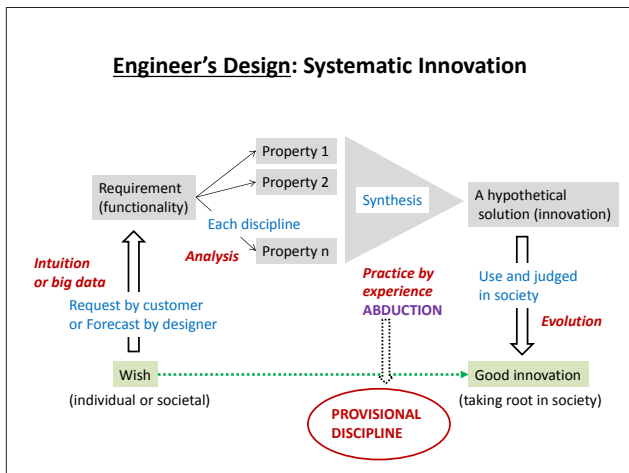


19

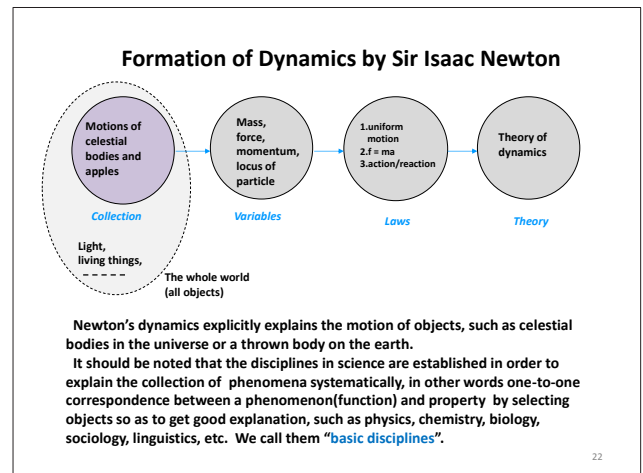


20

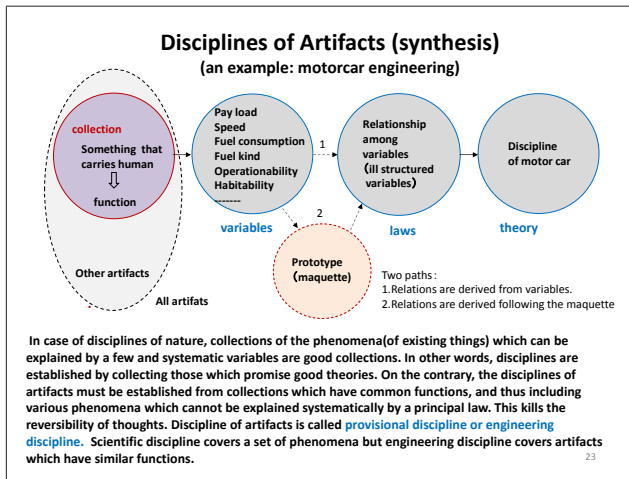




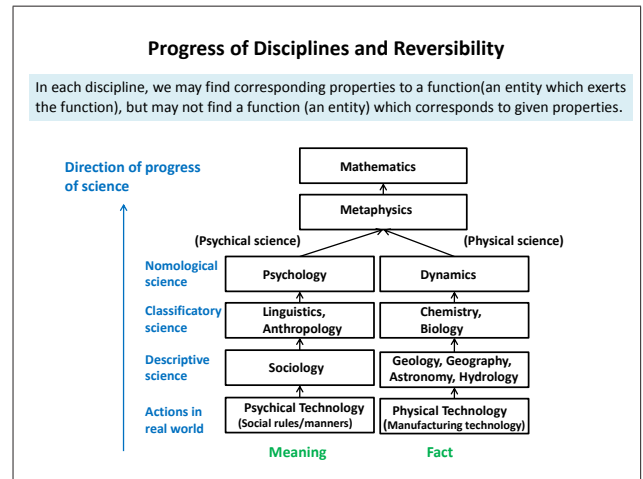
21



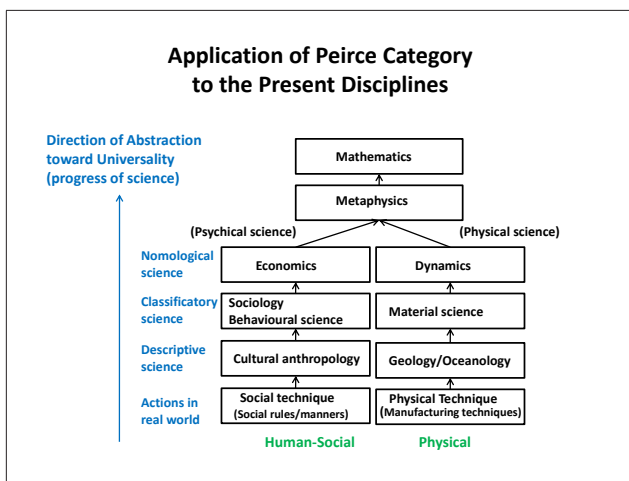
22



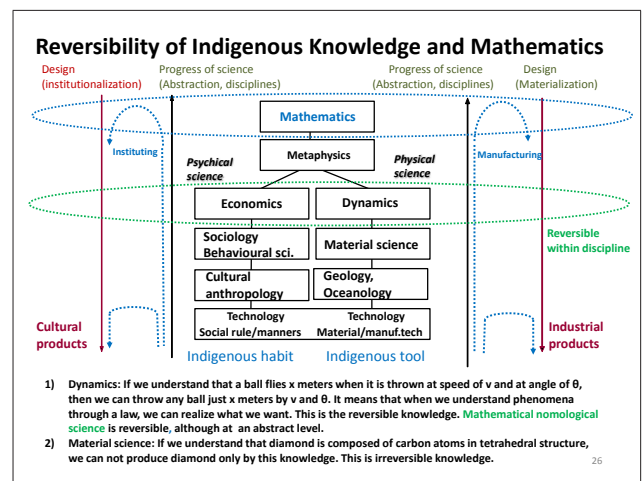
23



24



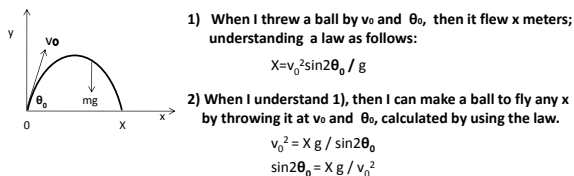
25



26



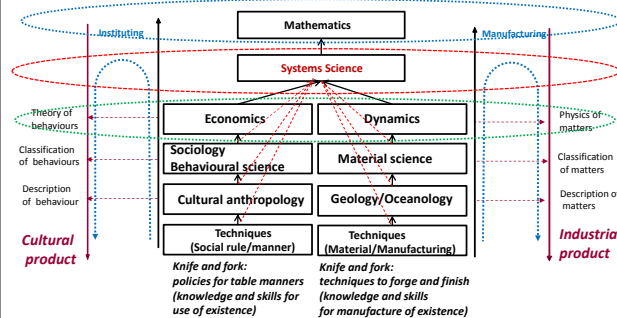
### Reversibility in Dynamics



The property that a ball flies  $x$  at  $v$  and  $\theta$  is only a part of the properties of the ball which is known by dynamics law. The ball has many other properties which were neglected by establishing a discipline "dynamics".  
 This is the reason why reversibility has been lost except throw-fly property in dynamics.

27

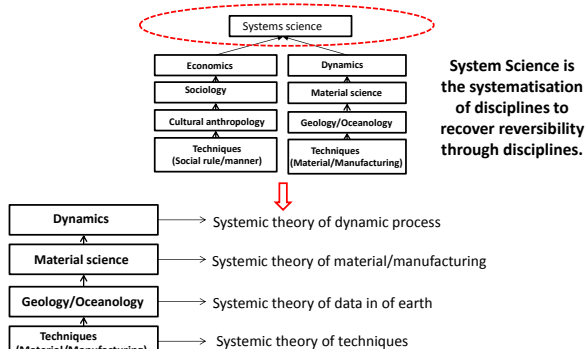
### Systems Science to Recover Reversibility



Peirce placed the metaphysics above the nomological science. If metaphysics deals with the fundamentals of all entities, it may be requested to be transdisciplinary and reversible at any level of abstraction. If so, it must be useful to solve the difficulties: the incommensurability among disciplines and irreversibility between abstraction level. Unfortunately, however, as terms in it are described in too much qualitative manner, it cannot be a useful tool to solve the present problems. Therefore, we substitute **systems scientific method** for metaphysics.

28

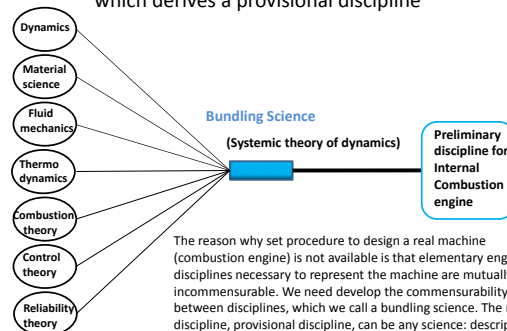
### Systemic Theories



29

### Bundling Science

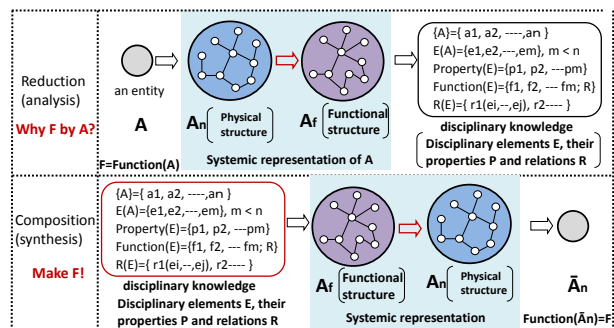
which derives a provisional discipline



The reason why set procedure to design a real machine (combustion engine) is not available is that elementary engineering disciplines necessary to represent the machine are mutually incommensurable. We need develop the commensurability between disciplines, which we call a bundling science. The new discipline, provisional discipline, can be any science: descriptive, classificatory, nomological in Peirce's category or an integrated textbook, but hopefully we develop a quantified preliminary discipline.

30

### Approximate Realisation of Reversibility by System Science

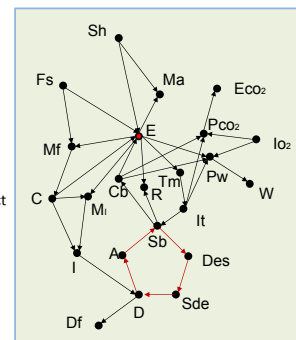


The reversibility of system science is based on its character that analysis and synthesis can be conducted by the same describing method of objects. Designation of elements and relationship among them is a typical example of system science which can be used for establishing reversibility, in case when a **universal designation and relationship** is achieved.

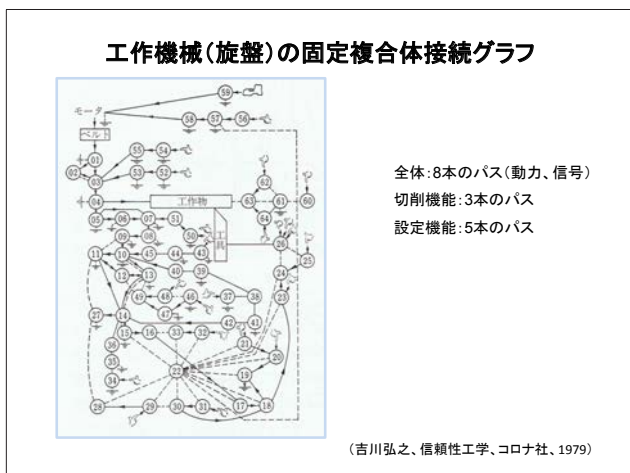
31

### Nicolau Rashevsky Structure of functionality of living things

C contact to food  
 I ingestion of food  
 D digest  
 A absorption  
 Df defecation  
 Sb synthesis of body  
 Des digestive enzymes  
 Sde secretion(分泌)  
 It inner transport  
 Cb catabolic process(異化作用)  
 E release of energy  
 Pw production of CO2  
 Eco2 elimination of CO2  
 W elimination of catabolic waste product  
 Pw production of catabolic waste  
 Tm protoplasmic movement  
 Io2 oxygen consumption  
 Fs stimulation  
 Mf movement  
 Ma avoiding movement  
 Mi movement for digestion  
 R reproduction  
 Sh harmful stimulus



32



33

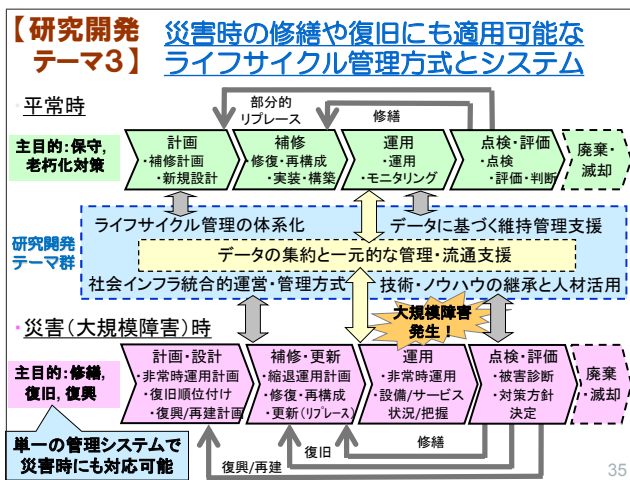
2014/2/4 フェロー戦略会議

**強靱で持続可能な社会の実現に向けた  
統合社会インフラ管理システムの研究  
～ 社会インフラチーム G4 ～**

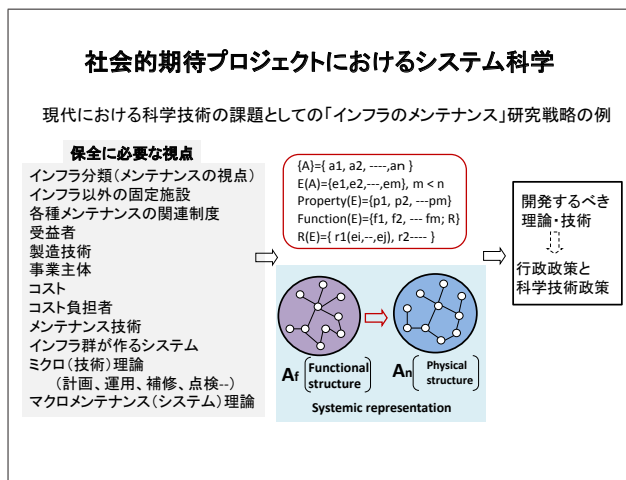
総括責任者 木村上席F (システム科学ユニット)  
アドバイザー 岩野上席F (電子情報通信ユニット)  
リーダー 豊内F (システム科学ユニット)  
サブリーダー 茂木F (電子情報通信ユニット)  
メンバー 富川F、本間特任F (システム科学ユニット)  
馬場F (ナノテク・材料ユニット)  
前田F、松尾F (政策ユニット)  
緒方F (環境エネルギーユニット)

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
CRDS  
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

34



35



36

end

37

## 第2部 パネルディスカッション

有本建男氏 講演（本セッションの冒頭説明）



まずこのパネルディスカッションの背景と議論のポイントを少し紹介する。まず、日本再興とは一体何を再興するのか。安倍政権のように経済もあるし、どうも今日聞いてみると、日本の科学知識の生産からデリバリーまで再興しないといけない。工学部教育の再興というのものもあるかも知れないが、そういう大きな課題設定もあると思う。その上で、少し大きな世界的な動きを紹介する。

少し私の考えが入っているかもしれないが、今、世界的に経済・社会ももう数百年くらいの規模で大きな過渡期、トランスフォーメーション期にあるということが盛んに言われている。ワールド・サイエンス・カウンシル、OECD、ワールド・サイエンス・フォーラム、AAAS (American Association for Advancement of Science)、それからダボスの会議でも盛んに言われている。先週シカゴであったAAASにはかなりの人が参加していたが、そこで出てきたのが、今日のキーワードにもある「Meeting Global Challenges: Discovery and Innovation」で、先ほど来、基調講演の方からも盛んに出たと思う。現場で私は聞いていたが、「Linking Discovery and Innovation」とフレーズが非常に強く言

われていた。それから、今年1月のダボスのメインテーマが「The Reshaping of the World: Consequences for Society, Politics and Business」ということで、この裏に技術の動向もあるわけだが、こういうポリシーレベルのことから始めて、具体的なレイヤーで「サイエンスとテクノロジーのシステムについてもリシンキングあるいはリデザインをしないといけない」ということが、世界の科学のトップジャーナルのサイエンス、ネイチャーで言われている。あるいはJST中村理事長も出ているが、グローバル・リサーチ・カウンシルというファンディング・エージェンシーのトップの集まりでも盛んに言われている。また、ICUSという国際学術連合会議があるが、そこでもフューチャーアース(Future Earth)という新しいチャレンジングなサイエンスを始めて、ファンディングのあり方を含めて、ソーシャルサイエンスをどうナチュラサイエンスとインテグレーションした上でイノベーションを興すかということ語られている。

しかし一方では、こういう非常にフラジャイルな状況だから、「どうやってサイエンスのインテグリティなりクオリティを維持するか」、それから、社会との接触が非常に強くなるので、「どうやって信頼性を維持するか」というところが表裏の関係でいろいろ語られているところである。明らかに今日のシステムデザイン、システムシンキングというのも社会と接触するということになれば、この辺をきちっとやっておかないと、中途半端なものになる。

さて、その上で「CRDS（研究開発戦略セ

ンター) とは一体何者か」ということだが、設立から 10 年経ち、非常勤も含めて 72 人くらいのスタッフがいて、一種の公的シンクタンクと標榜している。木村先生のシステム科学ユニットは 4 年前にできたが、こういう組織図で、組織自身がどうも若干トラディショナルなディシプリンベースになっていて、「これがシステムデザインとしていいのかどうか」というところは、吉川センター長の課題ではないかと思うので、あとでまたコメントをいただきたいと思うが、いずれにせよ、こういう形でやってきた。では何をこのセンターはやっているかと言うと、年に 10 件くらい、ナショナルレベル、あるいは JST のファンディングのレベルで「次にどういう分野にプライオリティをおいたものをやるべきか、そのときにどういうシステムをやるべきか」ということを政策提言し、具体的に少し動いている。当初の 5 年間はこれが中心だった。科学技術の領域を、伝統的な領域を中心にして、それを俯瞰して海外と比較をした上で戦略プロポーザルというもので出していくということをしていた。が、最近、この 3 年間くらいは、先ほど吉川センター長からもあったが、非常にこれは苦勞しているが、社会的なニーズ、あるいは期待というものを科学技術の方とミックス（吉川先生の言葉で言うとエンカウンター）した上で戦略プロポーザルを作っていくという、非常に難しいトライアル的なことをやっている。その 1 つの指導原理として今日の 3 つの基調講演にも重なるが、こういう社会的なニーズ、あるいは環境のニーズというものを捉えて、それを分析する。それには、課題セッティングが非常に大事で、その上で分析をする、あるいは知識を生産して、今度はシンセサイズをして、具体的に世の中に実装してアクションをとって、またそれを評価して回していくという、こういう大きな指導原理を 1 つもってやっているわけである。

センターとして 5～6 年、図のような基本の空間で動いてきている。左側を知識の生産と考えていただいて構わない。右側がそれを受け止める方、マーケットとかソサエティとかである。3 つのレイヤーに分かれており、先進国、BRICs、ディベロップینگカンントリーである。知識生産の方の BRICs、あるいはディベロップینگカンントリーが非常に拡大をし始めているが、この受け手の側の購買力、あるいは社会の方も非常に大きくなっているという中で、従来型のホモジニアスなやり方だけではなくて、ヘテロジーニアス、ダイバーシティの中でどうやって知識生産をするか。それこそ **Linking Discovery and Innovation**。イノベーションで社会のバリューをどうリンクさせるかということが重要になる。だから、イノベーション・エコシステムという、ローカルにもナショナルにもグローバルにもリージョナルにもやる、こういう 1 つの空間的なフレームをもっている。

その上で、今日の具体的な主題に戻るが、少し予定原稿的だが、パネリスト 5 人の先生方の事前の資料を見ると、3 つぐらい論点があるかと思う。システム設計という上流側。それから、システムを社会に実装する、実装するだけではなくて、それをオペレーションし、メンテナンスをして行くということ。それから全般的な人材の育成・確保というところで、工学教育の問題、ファンディングの問題、こういうものに対する産学連携ということ。

これは後から木村先生がご紹介されるが、システム構築の手順である。上流側のプラットフォームづくり、個別のシステム設計、さらに、それらをインテグレーションして社会に実装していくという中での、これら課題、論点を考えたい。

有本氏 講演スライド

パネルディスカッション  
「日本再興に向けたシステム  
構築と社会実装—課題と展望—」  
○背景と議論のポイント○

Feb 21, 2014

Tateo ARIMOTO

National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS) &  
Center for R&D Strategy (CRDS),  
Japan Science & Technology Agency (JST)

1

“The age of transformation”

Reshaping S&T policy

- WSC 1999** : Budapest Declaration- Science for the 21st century-  
“Science for Knowledge” and  
“Science in Society and Science for Society”
- OECD 2010** : “The OECD Innovation Strategy”
- WSF 2011** : “The Changing Landscape of Science  
- Challenges & Opportunities ”
- WSF 2013** : “Science for Global Sustainable Development ”
- AAAS 2012** : “Flattening the World  
- Building a Global Knowledge Society”
- AAAS 2013** : “The Beauty and Benefits of Science”
- AAAS 2014** : “Meeting Global Challenges - Discovery and innovation”
- Davos 2012** : “The Great Transformation - Shaping New Models”
- Davos 2013** : “Resilient Dynamism”
- Davos 2014** : “The Reshaping of the world - Consequences for Society,  
Politics and Business”

2

Rethinking S&T system

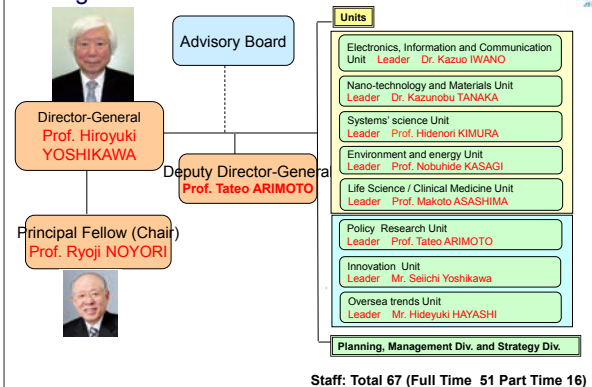
- Science, Nov 2011** : “Rethinking the Science System”
- Nature, Feb.16 2012** : “Tough choices; Scientists must find ways to  
make more efficient use of funds – or politicians may do it for them.”
- Nature, Oct 2012** : “The Changing Map of Science  
– Science on the move, Global Research”
- Global Research Council** : 2012-
- ICSU** : “Future Earth” 2013-
- EU Horizon 2020 & Vilnius Declaration** : 2014- “The Value and Benefits  
of Integrating Social Science and Humanities into Horizons 2020”
- World Social Science Report 2013** : “Changing Global Environments”

Rebuilding trust and scientific integrity

- IAC 2012** : “Responsible Conduct in the Global Research Enterprise”
- OECD 2013-** : “The Quality of Science Advice and Policy Reports ”
- Global meeting of Chief Science Advisers 2014** in Auckland,NZ
- United Nations Science Adv Board** , 2014-

3

Organization



4

CRDSの研究開発戦略作成プロセス

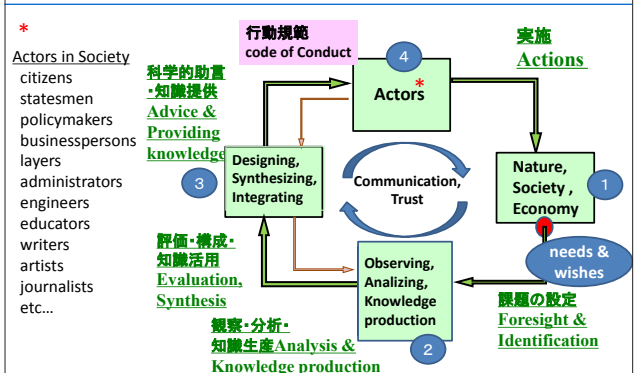
社会的期待と研究開発領域の双方を等価に視野に入れ、両者を結びつける



5

課題の設定から実施までの持続的循環

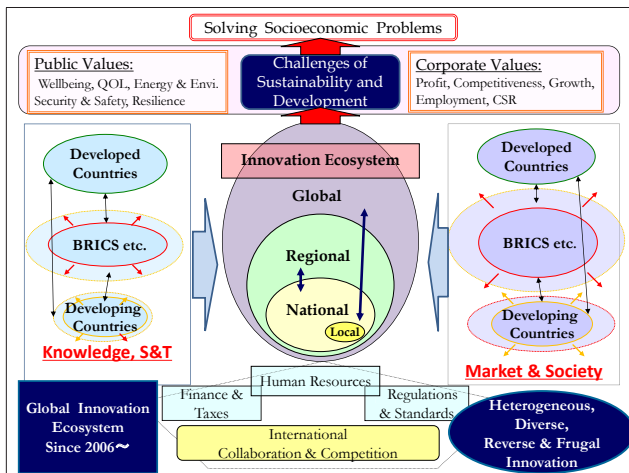
—社会における 行動者と科学者技術者の役割と責任—



Ref. Prof. H.Yoshikawa, DG,CRDS/JST

6





7

**日本再興に向けたシステム構築と社会実装  
～課題と展望～**  
**Renovating Japan through building and social implementation of new systems**

**コーディネータ・司会** 有本 建男 / Tateo Arimoto  
**パネリスト** 藤野 陽三 / Yozo Fujino  
松本 隆明 / Takaaki Matsumoto  
鮫嶋 茂稔 / Shigetoshi Sameshima  
藤田 政之 / Masayuki Fujita  
木村 英紀 / Hidenori Kimura

8

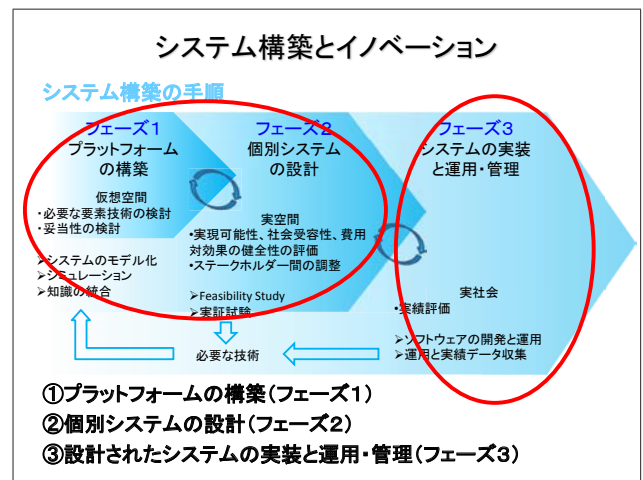
**日本再興に向けたシステム構築と社会実装  
～課題と展望～**  
**Renovating Japan through building and social implementation of new systems**

**論点1** システム設計で求められることは何か

**論点2** システムの社会実装を阻むものは何か

**論点3** システム構築と社会実装における人材の育成と確保(工学教育、ファンディング、産学連携等)

9



10

## 木村英紀氏 講演

吉川先生の非常に格調高いお話に何人もの著名な哲学者が登場したが、私も及ばずながら一人、ヘーゲルという哲学者を登場させてみたい。もちろん日本でも非常に有名な、ドイツ観念論の代表的な哲学者である。日本ではヘーゲル学会があるくらいに非常にポピュラーな哲学者である。この人の主張の1つに精神現象学というものがあるが、その序文に「真なるものはシステムとしてのみ現実的である」とある。これは私がルーマンの『社会シ

ステム論』を読んでいたところ、彼が始めの方に引用していたものである。これこそがシステムについての概念の有用さをこれ以上適切に語ることにはないほど語っている。これを私どもの言葉に牽強附会すると、「真なるもの」を科学技術であるとし、「現実的」を社会実装と考え、これは「科学技術の成果はシステムとしてのみ社会に実装される」と解釈をしたい訳である。これはヘーゲルの本意とは反しているかもしれないが、このフレー

ズをそういう形で解釈すると、私どもの主張にぴったりと合う。哲学者の主張ではなくて、我々の主張なのだが。

もう少し下世話な図で描くと、技術はシステムを通して社会に実装されるという絵である。技術というのが具体的に現れるのは発明とか発見であると思う。技術が社会に結びつくのは段々システム化していくことによるということである。1つの古い例を挙げると、エジソンの白熱電球というのがある。白熱電球というのは大変な苦勞をしてエジソンが作ったもので、エジソンだけでなくいろいろな人が競争で非常に熱気を帯びた発明戦争が19世紀の終わりくらいにあった。そこらの発明家はただ明かりが点けばいいな、ということだったが、エジソンだけはこれを各家庭で使わせようと考えた。家庭で使わせるにはどうすればいいか。当時、電池というのは非常に高かったので、電池は金持ちしか使えない。ならば、発電所を造って、電気を各家庭に運びたい、送電したいということを、彼は白熱電球を発明する前から考えていたということが分かっている。

まさにシステム思考である。発電網を作るというのは、当時、普通の人には考え難かったと思う。実際、彼は白熱電球を作って2〜3年後にニューヨーク市内に発電所を建てて送電網を作ることになる。電気を各家庭に送電し始める。これが今の送配電の元祖になった。まさにエジソンは最初のシステム工学者と言われるが、それを今の世界にひきつけて考えてみたい。今の世界にこういうことを考えたとすれば、何をやるべきか、何ができるか、ということ。

日本は災害国なので、災害について考えてみる。統合防災、東北大震災発生以後、私どもはずっと検討会をやってきた。防災科研の藤原先生を筆頭にして、システム科学者と防

災科学者を数名ずつ集めて議論をしてきた。当たり前のことだが、いろいろな災害が発生し、災害によっていろんなダメージが発生する。道路、水道、電力、河川、もちろん人間、災害の対象ごとにそれぞれ被害状況が伝えられて復旧をするということがやられるが、それは各担当が対象ごとにバラバラにやっている。被害の複合性とか、今後どうなるのかとか予測しないといけないのに、情報収集もバラバラだし、使える資源の情報共有ができていない。災害時にはもう情報なんて集まるはずがない。非常に部分的な情報しか集まらないので、それを基に合理的な予測と推定をしないといけない。こういうことは、バラバラにやっていたのではまったく不可能である。

ということで、最近の新聞報道に、基幹的広域防災拠点施設というのが東京都の江東区か何かにできたとあった。もちろん官邸の下にもある。そこには大きなパネルがあるのだが、そのパネルも、結局、各省庁から送られてきたデータがただ並んでいるだけだとのこと。そこに出向しているお役人さんは自分の出身の官庁と遣り取りをして、ファクスや電話で何かやっているだけで、一緒にいるということはほとんど意味をもっていないというお話を聞いたことがある。

そこで、図にある統合災害対策システムというのを、この検討会で考えた。被災地から



の情報をすべて集約する、あらゆる被害に関する情報を集約する。そして、この防災情報システムが被害推定の予測をする。もちろん地層や流域や都市耐震性などのデータベースがあって、被害状況が来たらすぐにインプットして予測ができるようにしておく。それから、その予測を基にどういう行動をとった方がいいのか、最適な行動は何か。これも各省庁バラバラではなくて、たとえば優先順位をつける。どの道を使って、どういうふうに物資を運ぶかというようなことを判断する。先ほどの有本副センター長の発表にあった吉川先生の構造的俯瞰と呼んでいるループにぴったりとフィットしている。こういうものが作れないかと考えている。もちろん難しいし、災害とは何かという基本概念が必要だが。

ちょっと話の順序を変えて、さっき有本副センター長が出していた図（スライド「システム構築とイノベーション」）について。去年の11月に私どものユニットから出したプログレスレポートにある図であるが、具体的な社会実装を最終的なターゲットとするような、そういうプロジェクトについてである。要素の研究をシステム構築に従属させる、要するにそこにできている要素を集めて来るという方法もちろんあるが、システムという視点から見たときに何が必要かということを要素研究に託するという機能が非常に重要である。事前にフィージビリティ・スタディを十分行い、「よいシステム」とは何かということを、可能性を徹底的に検証する。

今、CRESTなどほとんどのJSTのプログラムで、「〇〇のための基盤技術の創出」というタイトルがついたプロジェクトがあまりにも多すぎる。これは便利な言葉で、要素研究で終わっていいことになる。集積で終わっていい。もちろんこういう類の研究というのは必要ではないとは言っているのではない。ある意味では必要である。しかし、こればかりではどうしようもない。これを卒業しないと

いけないのではないか。また、基礎から実用化までの一貫通貫プロジェクトに、システム構築という最終ターゲットを必達の目標にすることによって、「魂」を入れて、さらに「心棒」を通すことができるのではないかということによって提案をした。

その中でこの図。システム構築についてフェーズを3つに分けた。フェーズ1というのはプラットフォームの構築。フェーズ2が個別システムの設計、3が設計されたシステムの実装と運用・管理。これは1から2、3と時間的に経過していく必要はなくて、どこからスタートしてもいい。だけど最終的にこの実装まで考えてビジョンを作っていく。

現状では、実は研究はこのフェーズ2ばかりになっている。フェーズ2というのは、要するに個別なシステムを作ること。私どもはこの個別システムの上位に、ある意味で一般的なシステム、先ほど吉川先生がおっしゃったメタフィジクスに対応するシステム科学に基づく概念が要ると考える。これはフェーズ1で可能だと考える。

災害とは一体何であるのか。ダメージを阻止する、ダメージを最小限にするというのがこのシステムの目的だが、それにはどのような災害に対してどういう情報をどう集めて、そこからどういう意思決定をすればいいかということ、抽象的なレベルで考えていく。そうすると災害とは何かというのが浮かび上がってくるはずである。これがフェーズ1である。

フェーズ2というのは、これを具体的な場に当てはめる。たとえば自治体、これは自分たちの土地だから、たくさんの情報がある。そういう情報を具体的に入れて、自分たちのところで何が起こったら何ができるか。あるいは、地域的な特性でなくても、水なら水と、水についての災害が起こり、ダメージが生じ

たときにどのように修復するかということ、他のダメージ等をインプットしながら作っていくシステムという形で個別化してもいい。個別化して具体化するというのがフェーズ 2。

フェーズ 3 というのは社会実装。これは大変な作業で、10 年、15 年掛かるはずだが、そのできあがったシステムをそれぞれ実装していくフェーズになる。重要なことは他のフェーズとの間に行き来があること。と同時に、必ずこのフェーズ 3 を考慮してフェーズ 1 から作っていくこと。フェーズ 1 はなかなか完成しないと思う。永久に完成しないかもしれない。しかし、そういうプラットフォームというものがあるなしでは全然違う。というのは、個別なシステムだけではいいか悪いかという判断ができない。間の連携もない。このフェーズ 1 というのを提案するというのが私たちの 1 つの特徴だと思う。これがメタフィジクスとしてのシステム科学に一步近づいたものではないかと考えている。

ということで、防災救援の場合をやったが、こういうテーマはたくさんある。まず、システム構築は決して簡単ではないということ。世の中には自然にできたシステム、あるいは企業が作ったシステムなど一杯ある。それなりに動いている。ところが、そう簡単ではなく、作ろうとしても結局できなかったという場合もある。動いてもトラブルが絶えない、使い勝手が悪い、一部の利益のみ重視しバランスを欠いている、構築のコストが大きすぎる、ステークホルダーの要求を満足させられない、環境の変化に対応できずすぐに役に立たなくなる、保守が困難、、、。こういうシステ

ムが残念ながら世の中には満ち溢れている。システムに関する深い専門知識と専門家が、システムの構築と運用には必要だと思う。これがシステム科学技術の役割だろうと思う。

とりあえず日本が直面しているシステム構築の課題として、この 7 つのドメインを考えたい。そして 8 つのシステム科学技術の分野、プリンシプルを考えた。これらは私どもが俯瞰をしたそれぞれのシステム科学技術の分野である。このクロス表で、横がシステムドメインで縦がシステム科学のプリンシプルである。◎は非常に必要、○は必要、△はたいして必要ないということである。

結びとして、最後のスライドで 2 つほど、どうしても申し上げたいことがある  
まず、システム科学技術と ICT を混同しないでいただきたいということ。システム化というのは ICT が出てくるよりもずっと前からある。研究開発に関する必要な資質は ICT とまったく異なる。両者を同一視することによって様々な混乱が我が国の中では生じている。と同時に科学技術にもマイナス影響を与えている。両者は違うということをぜひご理解いただきたい。

もう 1 つは、これまでいろいろとシステム科学技術の重要性が叫ばれてきたが、行政的な責任母体ができて、システム化への求心力をそこで吸収していただくことができると、非常にこれから日本のシステム構築が急速に進んでいくと思う。ぜひ要請をお願いしたい。  
以上。



木村氏 講演スライド

# システム構築型イノベーション

JST・CRDS 木村 英紀

国際シンポジウム「イノベーションを牽引するシステム科学技術」  
2014年2月21日 東京

1



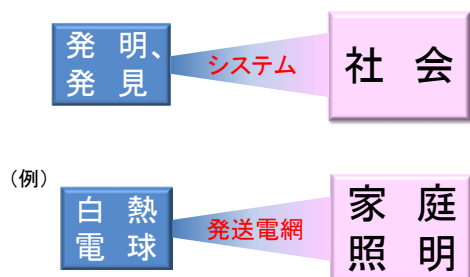
Georg Wilhelm Friedrich Hegel  
(1770-1831) ドイツ観念論の  
代表的な哲学者、弁証法の提唱者

“真なるものはシステムとしてのみ  
現実的である”（「精神現象学」序文）

科学技術の成果はシステムとしてのみ  
社会に実装される。

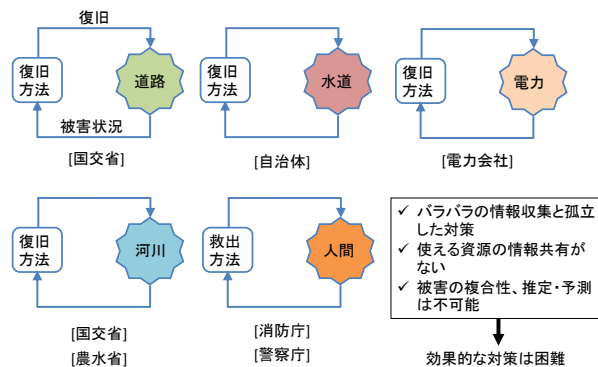
2

技術はシステムを通して社会に実装され、  
社会はシステムを通して技術に課題を与える。



3

## システム化の必要性 （統合災害対策システムを例に）



4



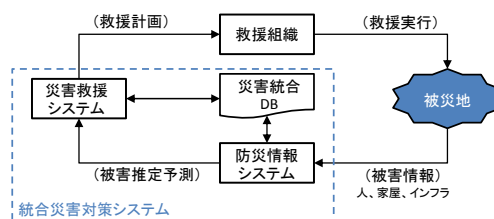
基幹的広域防災拠点施設

「災害情報共有システム」はあるが各省庁がそれぞれ得た情報がパネルに表示されるだけ。  
各省庁からの職員はそれぞれの省庁の中で電話、ファックスで通信しあうだけ。

5

## 統合災害対策システム

SIP（レジリエントな防災・減災機能の強化）に提言



災害統合データベース…地層、流域、都市耐震性などの国土情報、センサー配置など  
防災情報システム…限られた情報をもとに被害の推定と予測を迅速に行う  
災害救助システム…被害の推定と予測をもとに与えられた資源を最大限活用した救  
助計画を策定

モデリング、ネットワーク、最適化、意思決定など最先端のシステム科学技術が必要

6



## システム構築は決して簡単ではない

- ・ 目的自体が達せられないで中断または中止
- ・ 動いてもトラブルが絶えない
- ・ 使い勝手が悪い
- ・ 一部の利益のみ重視しバランスを欠いている
- ・ 構築のコストが大きすぎる
- ・ ステークホルダーの要求を満足させられない
- ・ 環境の変化に対応できずすぐ役に立たなくなる
- ・ 保守が困難
- ・ Etc.

7

7

## システム構築は決して簡単ではない

- ◎ 多様な関連因子を検出し重要性を格付けする
- ◎ 異種の知を組み合わせ統合すること
- ◎ 意思決定を体系化し、合理的な基盤を与えること
- ◎ 起こり得る環境変動に対する合目的性を担保する
- ◎ ステークホルダー間の合意を形成する
- ◎ 他のシステムとの共存、整合性の確保

**システムに関する深い専門知識と専門家が  
システムの構築と運用には不可欠**

2012/3/2

8

8

## 7つのシステムドメインが重要

- ・ エネルギー(発電ネットワーク・市場など)
- ・ インフラ(統合化・強靱化・最適保守管理)
- ・ 防災(統合災害対応システム)
- ・ 農業(育種、生育、栽培の一貫システム化)
- ・ 医療(遠隔高齢者ケアシステムなど)
- ・ 国家統計基盤(経済財政金融年金など)
- ・ サプライチェーン(食料、水、物流など)

9

## 8つのシステム科学技術の分野 (ユニット俯瞰分野)

- ・ 制御
- ・ モデリング
- ・ 最適化
- ・ リスク管理と意思決定
- ・ ネットワーク
- ・ システム構築方法論(2015年に開始)
- ・ 複雑システム(2015年に開始)
- ・ サービス科学(2015年に開始)

10

システムとシステム科学

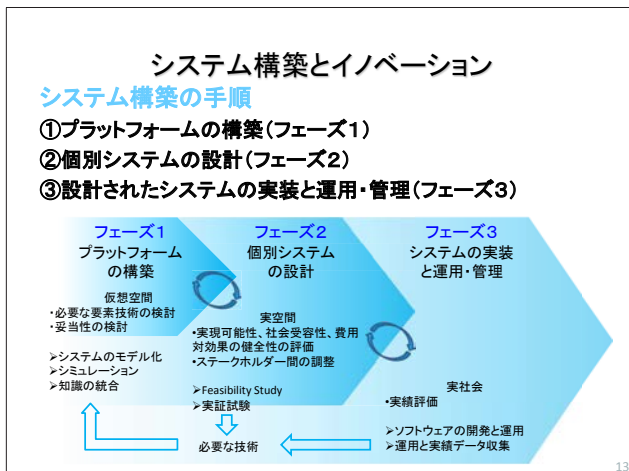
システム ドメイン 俯瞰領域	イン フラ	エネ ルギー	防 災	医 療	行 政 計 画	交 通	農 業
制 御	○	◎	○	○	○	◎	◎
モデリング (予測)	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎
ネットワーク	○	◎	◎	○	○	○	△
最適化	○	◎	○	○	◎	○	○
リスクマネジメント と意思決定	◎	○	◎	◎	○	○	○
システム 構築方法論	○	○	○	◎	○	○	○
複雑システム (複雑系)	△	○	○	○	△	◎	○
サービス科学	○	◎	○	◎	◎	○	○

11

## 「システム構築型研究開発プロジェクト」の提案 プログレスレポート(2013年11月発表)

- ・ 具体的なシステムの社会実装を最終的な必達のターゲットとする。
- ・ 要素の研究(基礎研究)をシステム構築に従属させる。
- ・ 事前のFSを十分行い、「よいシステム」の構築可能性を徹底的に検証する
- ・ 「〇〇のための基盤技術の創出」を卒業
- ・ 基礎から実用化までの一気通貫プロジェクトに「魂」を入れ、心棒を通す。

12



13

**結びにかえて**

- ・システム科学技術とICTを混同しないで頂きたい。システム化はICTよりずっと古い。研究開発に必要な資質は全く異なる。両者はむしろ直交する。日本では両者(システム化とICT導入)を同一視することから多くの誤りが生まれている。
- ・システム科学技術の振興を図る行政的な責任母体を作り、システム化への求心力を生み出して頂きたい。現状ではCRDSのシステム科学ユニット以外には存在しない。なおシステム科学技術は第4期基本計画では振興すべき分野に挙げられている。

14

### 藤野陽三氏 講演

何を話そうかと非常に悩んで困っていたが、担当がインフラということで、インフラのことを少しお話ししたい。

私は個人的には橋を専門にしているが、インフラにはいろいろなものがあり、かなり大規模でネットワークのものが多い。何かどこかで止まるといろいろな機能上で問題が起きる。インフラと言ったときにはだいたい土木のものというイメージがあるが、宇沢先生という方が『社会的共通資本』というのを定義されていて、3つある。自然環境、これはサイエンス的要素。それから、我々の土木的な社会的インフラストラクチャー。それから、皆のものといえば、公共政策のような制度資本がある、とのこと。我々は、常に自然と対峙し、「システムを、仕組みをどうするのだ」という意味では、この3つを常に頭に中に入れて、いろいろなことをやるという訳である。

ご存じのように膨大なインフラが「800兆円ある」と、今、言われている。残念ながらGDPが増えない中で、「この800兆円のイン

フラをどうやって保持していくのか」というのが課題である。「人口も減っていく中で」というのがもう1つ付け加わる。実は、古くなれば悪くなる、これはそうなのだが、突貫工事で造ったものとか、オリンピックで造ったもの、そういう元々よくないものが、申し訳ないけれど、あるのである。期限ギリギリで突貫。そういうものが、50年経って来て、だんだん様々な不具合を示しているというのが現実。

もう1つは、インフラは普段使うものだから、直すというのも大変だということ。皆さんに迷惑をかける。それが、躊躇するもう1つの原因になっている。これは実は1983年の吉川先生の論文なのだが、「保全」というのを初めて使われて、皆がものをどんどん新しいものを建設している時代に保全というものの重要性を主張された。我々にとっても、保全というのはあまり聞こえが良くない言葉で、今、我々はこれをマネジメントと呼んでいる。

これはアメリカの私の友だちで、ニューヨ

ークの橋守（はしもり）みたいな人が書いた本だが、ディスクリプティブな哲学的な本である。つまりノウハウ本ではない。私と私の友だちの若いのとで訳した。我々が読んだときのこの本の感触は、これは原文にはなかったのだが、要するに、「技術と経済と政策と現場の統合だろう」、というのがマネジメントだと思った。つまり、技術だけでも片付かないし、やっぱり経済もあるし、実は社会全般のルールだから政策も要る。いろいろなことが起こるのが現場だから、これをどうやって束ねるのか、というのがマネジメントの基本だということ。ニューヨークに行くとたくさん橋がある。アメリカのいいところは、1970年代から向こう（アメリカ）は見えるようにすることが義務化されている。つまり、指標を出す。例えば、この橋は7点、新品同様だと。時が経つとどんどん点が下がって来る。このように、レーティングをして、維持管理するので、だいたい使える範囲の4点くらいに這いつくばるように、いろいろ直したりする。ところが、もし直さないと、実は青線のように落ちて行くという。60年経つとだいたい使えない範囲になる。最も悪いものは30年経つと使えないようになる。例えば、田舎に行って30年以上の古い橋を渡ったときは危ないかもしれないということになる。

そうは言っても、実データはものすごくバラつく。それは、造った人が違う、設計した



人が違う、ずっと置かれている環境が違う、上に乗っている自動車も違う、ということがあって、実は何十年経ってもいいものはたくさんある。ところが、悪いものはいろんなトラブルを起こす。裏の実データがあって、平均化すると先ほどの図になるのである。

言い訳ではないが、我々の分野の1つ1つが単品である。橋でも全部設計して違う人が作るので、クオリティがいろんな意味で違って来る。使われる条件も違う。かつ、長い間使う。その間にいろいろ想定外のことも起こる。アメリカはマネジメントで成功したと言われていたが、ご存じのように7年前に橋を落とした。日本はいいものを造っていると言われていたが、トンネル事故を起こした。我々も前から維持管理は大事だと言われていたが、やはりここで本当に目を覚まされたというのが正直なところである。

では一体、我々がもっているインフラは、補修するのにどのくらいかかるのか。実は1970年ごろに造ったものが多い。NEXCOという日本道路公団の橋が一体今後どれくらい直さなければいけないのか、ということを見積もった。15年間としたときに3兆円掛かるとのことである。その中の半分が橋なのだ。車が通る橋で、床面のところが1.5兆円。実は高速道路がもっている橋というのは全国の2%しかない。もし橋が皆悪いとなると、「何十兆いるんだ！」という非常に怖い話である。だから、これを半分でも、あるいは70%でも30%でも、減らすということは非常に大事な役割だ、というのが、今の状況である。

私は昔は制御をやっていたので、こういうシステム制御についてはストックのマネジメントというグローバルなことを論文に書いたが、グローバルの話ではなくてミクロの話が実は大事で、たまたま総合科学技術会議でや

るイノベーション創造プログラムのインフラ担当になったときに考えたことをちょっとお話ししたい。

吉川先生も詳しく書いてあったが、実は何が大事かという、調べる、そして、診断することである。診断するために評価基準がないといけない。診断して、あるものは直すし、あるものは「そのままでもいい」という、このループを回すことが非常に大事である。地方に行くと、今はこれもやっていない。だから、これがやれるようにする。それから、ではどうしたら直すのだ、という評価をする。これはハード技術だけでは済まない。一種のマネジメントだから決定なのである。そういうところにいろいろな技術が必要になるのを SIP の中で、一緒に組み合わせて行こう、というのが今の考えである。

例えば、「観る」というのはどうするかというと、側に行き目で見る。でも実は見えないうところ、行けないところもたくさんあるのが現実である。そういうところにロボットとか機械支援を入れる。この辺は実は日本はあまり進んでいなくて、ドイツなんかはこの計測器というのが非常に発達していて、いろんな装置を積んだ計測器がロボットのように動いて、一晩のうちに橋の上面を測ってくれる。こういう技術を開発しないといけない。人口減もあるし、人の力を借りる訳にはいけないのである。

また、東京大学の前川先生が持っているナノスケールから全部一気通貫にコンクリートを予測するというシステムがある。たぶん世界でも No.1 のクラスだが、今使えていないとのこと。こういうのをいかに使えるようにしていくかというのが、このプログラムで考

えなくてはいけないことである。ではなぜ使えないか。

実は、皆、村に生きていて、私はこの辺の村にいて、材料の村に居る人もいる。新しいものを作るときには、あるルールを満たして、あるレベル以上のものを作ればいいので、比較的設計は楽。一方、できあがったものの評価というのは、なかなか難しく、材料のことも知らなければ構造のことも知らないといけないし、いろいろなことを知っていないといけない。それができない。村で育った我々は「村の中での居心地がいい」ということ。

そういう環境の中ではなかなか横串を刺すというのが難しい。それをどうやって刺すか。私が刺すのか、心棒を入れるのは私になるのかどうか知りません。実は皆、言葉が外国語で違うので、通訳が要る。非常に大事なことは、通訳が要るということ。通訳がないと情報がちゃんと伝わらない。この通訳をやるとするのが非常に大事じゃないかと思う。これがイノベーションかどうかは分からないが。

このサイクルが回るには、実はこんなに大変だと予想ができた。技術、お金。そして評価スケール。「今後どうなるか」というのは、技術と判断の問題になる。実は、管理者が県であったりすると、なかなかエンジニアとしてはレベルがそう高くはいかない訳で、そういう方が使っていただけるようなものを作る。そうすると、やはり教育とか地方の大学との連携とかも非常に大事になって来るのではないかと思う。もちろんその最後に書いてある情報というのも大事。この辺で話題提供を終わらせていただく。



藤野氏 講演スライド

インフラストラクチャの  
マネジメントシステム

科学技術振興機構  
CRDS科学技術国際シンポジウム  
2014.2.21

藤野 陽三  
東京大学工学系研究科 総合研究機構

1



2

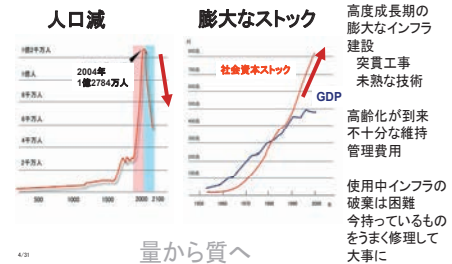
インフラストラクチャ＝  
「社会的共通資本」  
「みんなが使う、みんなのもの」  
「公」(官ではない) 対「私」  
人間が人間らしく暮らすのに必要なもの(塩野)

- ・自然環境 サイエンス的要素  
大気、水、森林、河川、湖沼、  
海洋、沿岸湿地帯、土壌
- ・社会的インフラストラクチャー 工学  
道路、交通機関、上下水道、  
電力・ガス 所謂「社会資本」
- ・制度資本(システム) 社会科学の要素  
公共政策、教育、医療、金融、  
司法、行政



3

転換期を迎える日本



4



5

「作る」時代から「使う」時代  
さらに「マネジメントする」時代

アメリカでは1970年代の重なる事故を経て、  
点検を義務化し、維持管理、補修のサイクルを回してきた。



技術・経済・政策・現場の統合


6





- 9





システム制御理論を用いたストック  
マネジメントのモデル

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$u = \mathbf{C}\mathbf{x}$$


$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} s \\ d \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & e_1 \\ \beta & -\beta \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} e_2 \\ \delta \end{bmatrix}, \mathbf{C} = [c_1 \ c_2]$$

$s(t)$ : 全ストック,  $d(t)$ : 劣化ストック,  
 $u(t)$ : 維持管理・取替費用

13

## 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

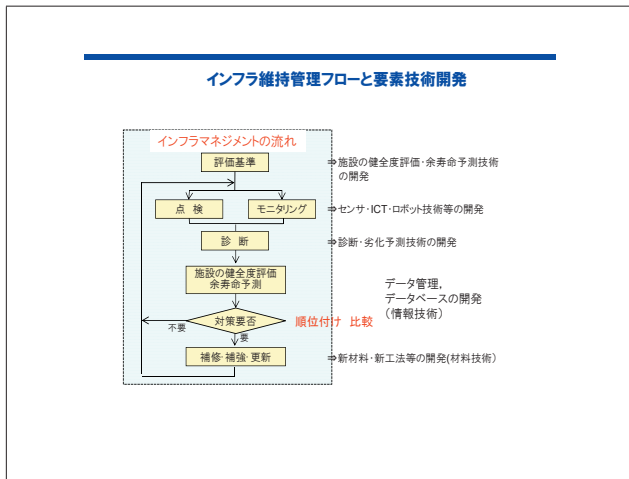
研究開発計画案中間発表



インフラの維  
持管理・更新・マネジメント技術  
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

内閣府 政策参与  
藤野 陽三

14



15

### 研究開発内容



ロボット  
(機械支援)  
SIP(レジリエントな防災・減災  
機能の強化)と連携

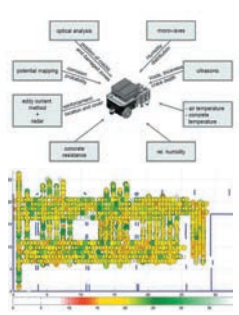
点検  
補修工事

計測との連動  
無人化

実用重視の  
立場

16

### BETOSCAN-system (BAM and Fraunhofer Institute in Germany)



Ultrasonic thickness measuring of a concrete plate

Idea: Simultaneous measurement of all key parameters over the whole surface of concrete decks by robot to detect possible void, delamination, corrosion, etc.

17

### 非線形疲労応答解析に基づく コンクリート系橋梁床版の余寿命推定システム

概要



前川教授(東大)

コンクリートの疲労破壊過程を再現できるFEM解析技術を実構築に拡張し、既存の目視調査法と数値解析を組合わせた統合シミュレーションシステムを構築する。

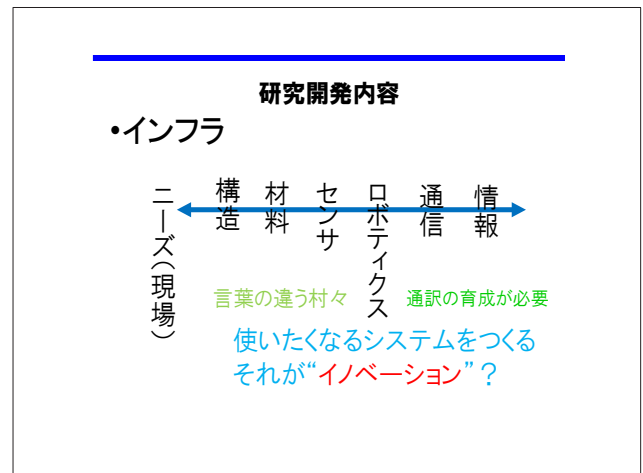
平成22年度	平成23年度
<b>1. 解析モデルの検証と高度化</b> 1-1 既存構造物の余寿命推定手法の開発 損傷を与えた構造物の疲労実験と再現解析 1-2 補強工法の延命効果推定手法の開発 異種材料の境界部モデル拡張と検証実験	<b>2. 統合システム構築</b> 既設床版の余寿命推定と補強延命効果シミュレーションシステムの構築 ・過去の環境条件と荷重履歴等を考慮 ・目視調査・簡易計測と数値解析との統合 ・実用化対応型インターフェースの開発

平成22～23年度課題 代表者 東京大学 前川宏一

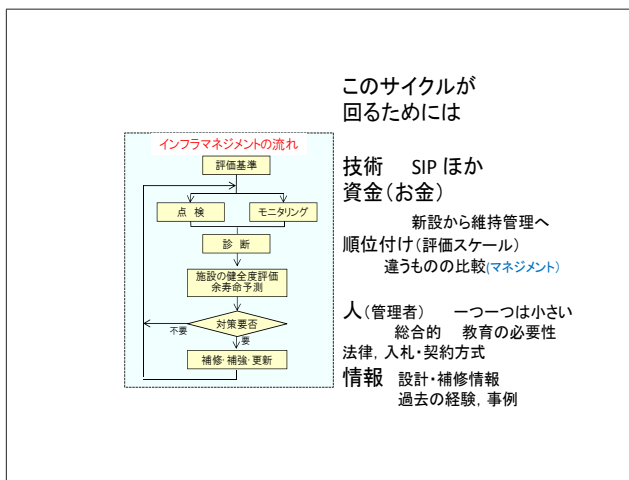
18



19



20



21

## 松本隆明氏 講演

木村先生からシステムと IT システムを混同しないように釘を刺されてしまったが、私は IT システムの、特にソフトウェアという視点からシステムの構築を考えてみたいと思います。

図は社会経済活動に多大な影響を及ぼした IT システムの障害の発生件数のグラフを示している。2009 年にだいたいシステムの障害の数は減ったが、残念ながらその後、毎年右肩

上がりにシステムの障害の数は増えている。最近のシステム障害の原因を見ると、大きくは 2 つ特徴がある。1 つは製品とか装置の故障でも、実際には内蔵されているソフトウェアが原因だというケースがかなりの部分を占めている。また、システム系の障害では、同じような原因でトラブルを起こしているというケースが多々見られる。

たとえば、2007 年に首都圏を中心にして自

動改札機が動かなくなったというトラブルが発生した。実際には改札機が障害となったのだが、原因はその中に組み込まれていたソフトウェアだった。さらに、この障害が起きてから、1週間後にまた同じ原因で、今度は窓口精算機が使えなくなったということが起きている。約 260 万人の利用者の方に影響を与え、社会的に非常に大きなトラブルとなった。

もう 1 つ、これも非常にエポックメイキングだったが、2009 年から 10 年にかけて、アメリカで日本の自動車について、ドライバーが意図しないのに急激に加速するということで、クレームが多数寄せられて問題になったということがあった。自動車のメカニカルな部分ではなくて、電子スロットル制御システムのソフトウェアがおかしいのではないかと疑われ、アメリカ政府からメーカーに対して、きちんと「品質が大丈夫だ」ということを説明しなさい、と言われた。しかし、なかなかうまく説明ができなくて、結局は NASA という第三者機関が内容を検証して、ソフトウェアに問題はなかったことが分かった。

ちなみに、こういったソフトウェアに起因するようなトラブルがなかなか減らないのは、ソフトウェアの開発の場合にはハードウェアに比べるとかなり難しいところがあるからだと考えられる。ハードウェアの場合には要件定義の段階で、その製品なりサービスがもつべき機能というのは割と明確に分かりやすい。しかしながら、ソフトウェアの場合は、社会システムそのものを実現するということになるので、非常に機能として曖昧になりがちである。また、最後の製造の段階になると、ハードウェアでは工業製品的に機械的に作ることができるが、ソフトウェアは人間が作らないといけない、人手で作らないといけない。人の能力に非常に依存するといったところがある。

では、こういったところでソフトウェアの品質をどうやって高めていくか。やはり上流工程と呼ばれる要件定義をきっちりやっていくことがいちばん重要になってくる。最近よく注目されているのが形式手法で、この手法を使ってソフトウェアの上流工程を定義していくことが有効であると言われる。これは実際に私どもで行った適応実験の例だが、実際に動いているシステムの設計書・仕様書を形式手法でもう一回チェックしてみると、結構、設計内容に矛盾があったり、設計内容に不足があったり、曖昧さがあったり、そういった問題点が発見できた。非常に有効な方法であるということが検証できた。

もう 1 つ最近、組み込みで、システムを中心にモデル指向開発というのが非常によく使われるようになってきた。システムがどんどん大規模になるので、コンポーネント間の関係と、その構造をきちんと視覚化して見えるようにしていくことが重要であり、こういった方法を使って「見える化」していくことが非常に有効だと言われている。

類似の障害を防ぐという点では、障害が発生すると、それに対する対策というのは、今は 1 つの企業、起こした企業の中に閉じてしまっているというのが実態だが、やはりこういった情報を皆で共有して、教訓の形で再発防止につなげていくということが大事になって来ると我々は考えている。現在私どもが中心になって、産業界のいろいろな業界を横通しでこういった情報の共有をしていこうという取り組みを進めている。ただ、企業はなかなかこういった障害情報は出してくれないので、非常に苦労しているところではある。

実は、先ほどの日本製自動車のアメリカでの問題では、もう 1 つ大きな問題をはらんでいた。これまで日本の企業というのは、利用

者の要望に個々に応えることで品質が高いというブランド力を築いてきた。しかしながら、グローバルなマーケットでは、メーカーが「これは高品質ですよ」と言ったとしても、第三者が客観的に見て評価してくれないと通用しないということが今回のケースで明らかになった。「Trust me!」では通用しないということである。

そこで、やはり供給者が提供する製品の品質を第三者がきちんと検証して、お墨付きなり状況を利用者に知らせる、そういった仕組みが必要になってくる。これも IPA の方でガイドラインを作って、今、普及に努めているところである。

以上、ソフトウェアを中心にして品質を高めていく必要があるのだが、昨今やはり、システムを取り巻く環境というのは急速に変化している。特に左下にあるリスクの増大。サイバー犯罪の増加がもう無視できないほどになってきた。それから、サービスが非常に複雑に連携するから、プロビジョニングがすごく難しくなってきたということもある。いわゆる安全性の確保が非常に重要になってきた。

もう1つは、東日本大震災以降、やはり安心に対しての利用者の意識が非常に高まってきたという問題もある。そういう意味で、今後は信頼性だけではなくて、可用性とか安全性、あるいは保全性も含めたシステムのディペンダビリティというのを、きちんと確保することが強く求められるようになってきた。また、もう1つはセキュリティ。サイバーアタックに対しても耐えられるシステムになっていかないとはいけない。



ちなみに、車もうネットワークにつながる時代なので、セキュリティとは無縁ではいられなくなってきたということである。車のディペンダビリティという意味では、安全という視点で見れば、車は止まっていればいけば安全だが、では高速道路の真中で止まっていけないかということ、そうはいかない。ということで、やはり可用性を同時に満たす必要がある。こういったディペンダビリティという考え方を、きちんと最初から入れていく必要がある。

ただ、システム要求の定義の段階で全部が分かるわけではない。リスクというのは、設計をしながら、あるいは開発をしながら、いろいろなリスクに対しての対処をしていかなければいけない。こういったところは、個々のフェーズごとに取り組んでいく必要がある。それを体系的にしていく必要があるだろうということで、ここはまさにこれまで日本が得意としてきた「すり合わせ型」の開発に近いところである。そこできちんと品質を作り込む枠組を作ろうということで、今それを国際標準として、我々が中心となって取り組んでいるところである。以上。



松本氏 講演スライド

**IPA** Software Reliability Enhancement Center  
Information-technology Promotion Agency, Japan

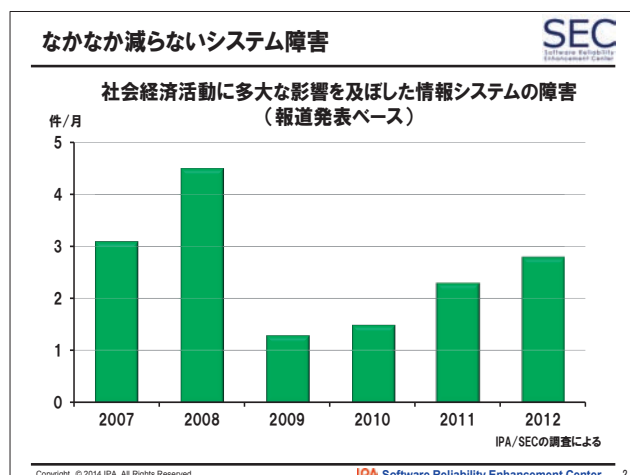
## 安心・安全な社会を支える ソフトウェアシステムの構築へ

2014年2月21日

独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)  
技術本部 ソフトウェア高信頼化センター(SEC)  
所長 松本隆明

Copyright © 2014 IPA. All Rights Reserved

1



2

最近の障害の特徴

- 製品・装置の故障も、内蔵されている**ソフトウェアが原因**であるケースが多い
- システム系の障害では、**類似の原因**に起因するケースが多い

Copyright © 2014 IPA. All Rights Reserved

3

自動改札機の不具合による大規模障害

2007.10.12

- JR東日本、地下鉄、私鉄の662駅で自動改札機が使えなくなる
- 原因は、ネガデータを中央のコンピュータから受け取る際、改札機のソフトウェアに不具合があり正しく読み込めず

2007.10.18

- 地下鉄等の65駅で窓口処理機が使えなくなる
- 原因は10/12のトラブルと同一。改札機と窓口機で不具合の発生条件が異なった

約260万人の利用者に影響

Copyright © 2014 IPA. All Rights Reserved

4

日本製自動車はソフトウェアが疑われた

● 2009年～2010年日本製自動車の「意図しない急加速(UA)」に関するクレームが急増

● 米国議会や米運輸省道路交通安全局(NHTSA)から品質報告を求められるもメーカー側は説明に苦慮

● NHTSAは第三者機関であるNASAに不具合の有無の調査を要請 → 結果はシロ

電子スロットル制御システムのソフトウェアが疑われた

出典: <http://www.nhtsa.gov/PR/DOJ-16-11>

Copyright © 2014 IPA. All Rights Reserved

5

ハードウェア開発とソフトウェア開発

ハードウェア開発

要件定義 → 設計 → 製造

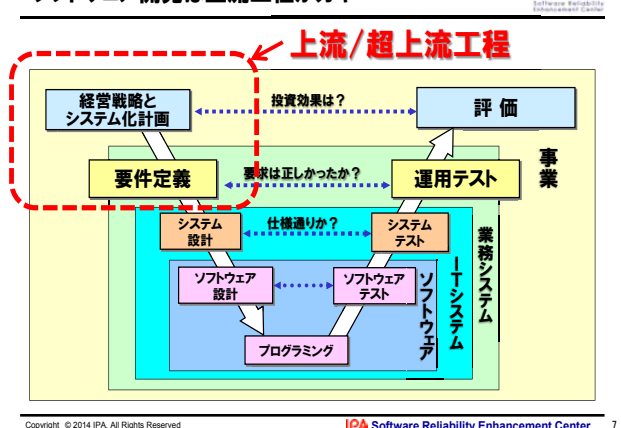
ソフトウェア開発

要件定義 → 設計書 → 製造

Copyright © 2014 IPA. All Rights Reserved

6

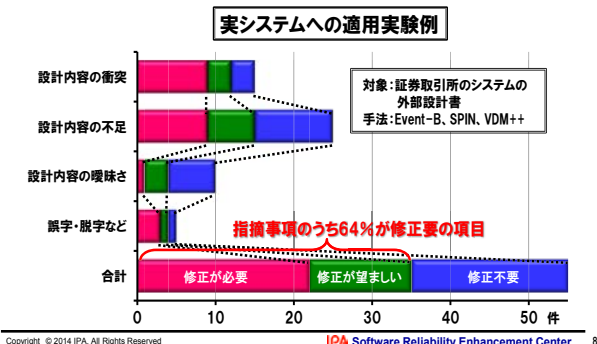
## ソフトウェア開発は上流工程がカギ



7

## 形式手法の適用

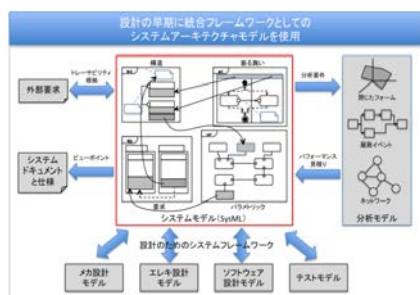
- 形式手法とは、数学的な規範を用いることで、設計の曖昧性や不正確さを排除する手法の総称



8

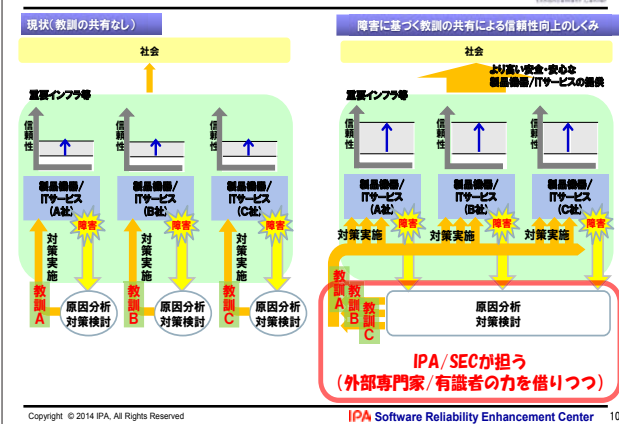
## モデル指向開発(MBSE)の適用

- 対象のモデルを適切に構成要素に分割 (decompose) できるため、QCDSE (品質、コスト、納期、安全性、環境) などのバランスをとることができる



9

## 類似障害の再発防止の仕組み作り



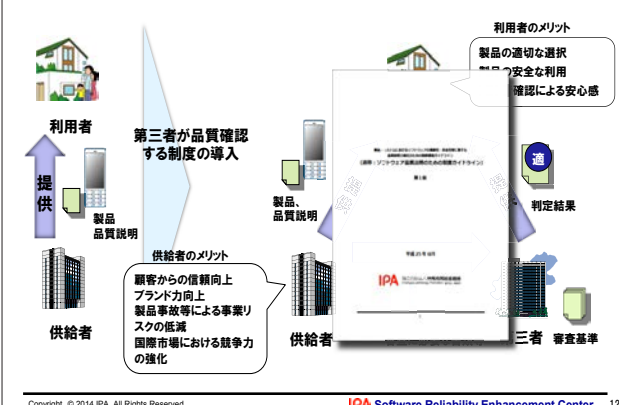
10

## 日本製自動車の不具合懸念の事例からの教訓

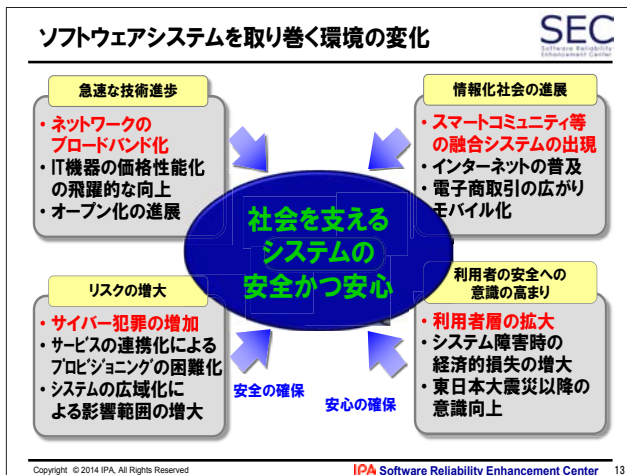
- これまでの日本企業は、利用者の要望に個々に答えることで高品質というブランド力を築いてきた
- 実際、日本企業のソフトウェアの品質は海外に比べて1桁以上高いとの調査結果も出ている
- しかしながら、日本企業は「顧客満足」を企業主張だけでは達成できない。消費者の「主観的評価」と「第三者による客観的な評価」の両方を高める必要がある
- 会計処理も「主観的評価」と同等
- 一旦ブランドが傷つくと回復には極めて大きい
- 今回のケースでは直接的な損害賠償は認められなかったためUAに対する損害賠償請求にはメーカ側が勝訴したが、ブランドイメージの低下により車両の価値が下がったとして顧客から訴えられ、11億ドル(当時のレートで約940億円)を支払うことで和解

11

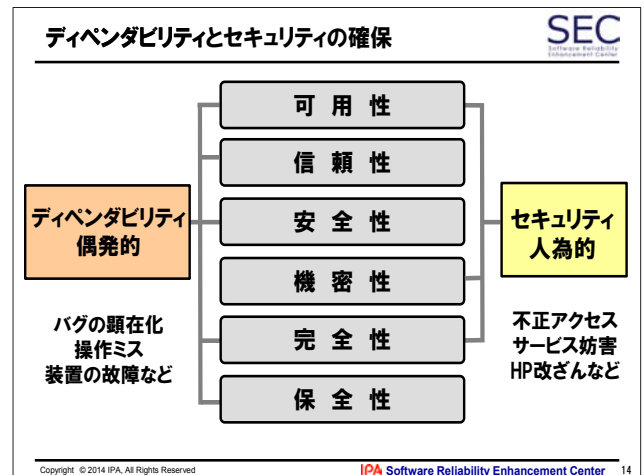
### 第三者が品質を確認する仕組みの導入



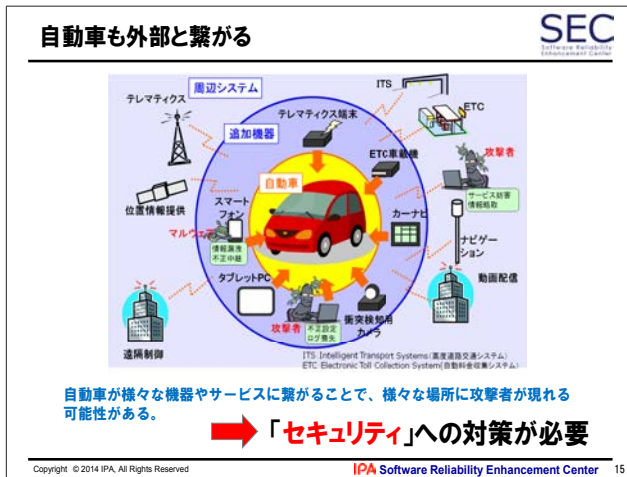
12



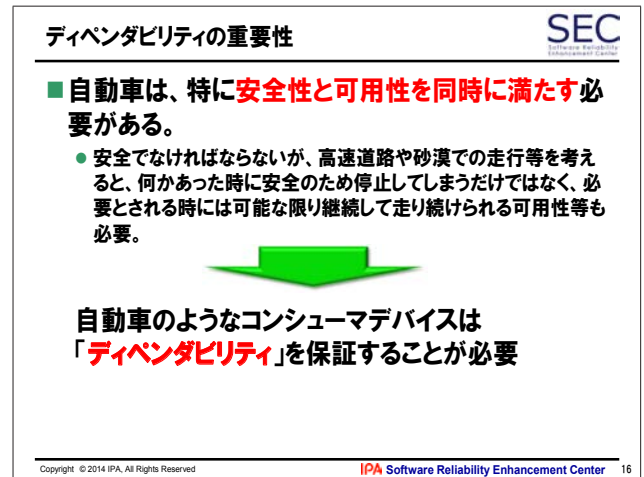
13



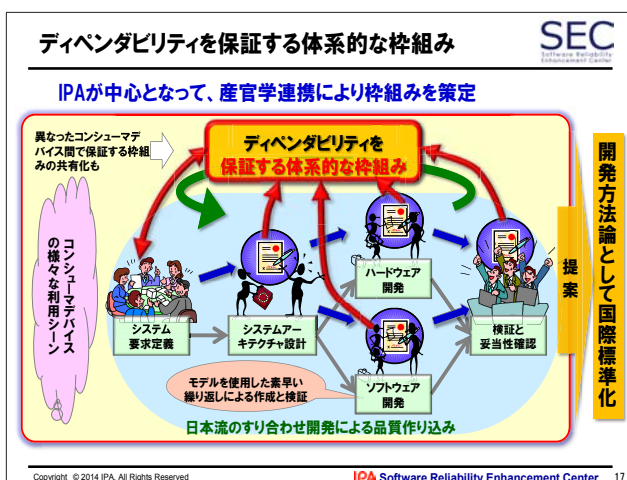
14



15



16



17

## 鮫嶋茂稔氏 講演

パネリストの中で一人だけ「産業界から出席せよ」とお声がけいただいたので、私の方からは、特に先ほどのお話のシステムの構築や実装といった下流、そういったところについて、私どもで取り組んでいるインフラシステム開発の事例、そして、考える課題とについて、簡単に述べさせていただきます。

まず個別の事例に行く前に、私ども社会イノベーション事業の全体的なことについて。インフラシステムの展開ということを図っている。持続可能な社会とあるが、先進国では老朽化したインフラの維持・更新に、新興国では新しいインフラの構築といったリクワイヤメントに対して、手段としての IT、そして機械の制御とか、あるいはシステムの運用といった技術の OT（オペレーションテクノロジー）と、そして製品やシステムといったものを提供するという形である。分野としては、エネルギー、上下水道、交通などといったところに取り組んでいる。

ここでイノベーションという言葉を使っていることについて。私どもがシステムを実際に納める国、お客さんが変わると、境界条件というかその周辺、どこまでをシステムとして納めるか、といったものが変わる。そういった形でいろいろなものの条件が変わってくるので、何か分かったものを作るのではなくて、こちらから提案しながら実際の現地にすり合わせるというような形で入れていく、そういう思いで、社会イノベーション事業と呼んでいる。

具体的な例を3つほどご紹介したいと思う。まず最初に、エネルギー分野の事例。全体的な絵は図にあるように、発電システムから送電システム、配電システムといったものを經由して、最終的に需要家にエネルギーが提供

されるというものになる。同時に、こういったシステムを動かすために IT も使いながら運用もする。従来のエネルギーシステム、特に日本の場合だと、発電、送電、配電といったところが主だったが、最近スマートグリッドといった言葉にも代表されるような流れの中で、需要家というもののまで巻き込んだトータルなシステムとして考えなければ、エネルギーシステムとしての社会コストの低減だとか、そういったことが図れなくなった。需要家側にも大きな光が当たっているという背景がある。

需要家側の取り組みの例として、柏の葉駅周辺の町全体での地域のエネルギー管理システムの事例を。太陽光発電（PV）とか蓄電池といったものを内部で持つと同時に、マンションとかホームのエネルギー・マネジメント・システム（EMS）、そしてショッピングセンターなどビルの EMS、エネルギー管理システムといったものも同様にして、全体での需要を予測しつつ、太陽光発電、あるいは蓄電池に蓄積した電気をうまく使うことで、ピーク電力を抑えようということをしている。ピーク電力を抑えるということは、お客様にとってのコスト的なメリットもあるし、同時にピーク電力にあわせた電力設備というものを全体で作っていくことになるので、社会コスト低減といった形にも貢献していく取り組みの事例である。こういった形で新しい要件で、システム化といったものに取り組んでいる。

2 つ目の事例は、水分野の事例。図は私どもで全体像として描いている絵で、インテリジェントウォーターシステムと呼んでいる。海あるいは川からの取水によって浄水処理、そして飲料水や用水を配給するというシス





テムに加えて、下水の処理、それを中水として活用する、あるいは工場の排水を処理することで再利用していく。こういったものを、それぞれをバラバラではなくて、トータルに扱っていく。特に海外の水が足りないといったところで、いかに有効活用していくかということに対して、個別のシステムではなくて、全体としてやっていく。そういうことでうまく問題を解決していくことに貢献できるのではないかという取り組みである。

その1つとして、私どもで取り組んでいるのがモルジブでの上下水道事業。こちらはお客様に納めるのではなくて、そこ（現地の水道事業）に資本参加して実際の運営者になるということで、モルジブのマレ島というところでやっている。水道システムと、水を配給するのに加えて、ステップ1にある管路の図面管理システム、これは全体の維持管理でも非常に重要になってくる。こういったところから、まず水道事業運用そのものの全体を効率化していくという形で取り組んでいる。

3つ目は鉄道の例。具体的にはイギリスで現在、鉄道の車両を受注して納めており、その事業を拡大しているところである。実は

2000年からずっと長い間取り組んでいたものでして、ようやく2009年にロンドンと海峡トンネル間の路線に、クラス395と我々が呼ぶ車両を納めた。イギリスの場合では、車両を納めて終わりではなくて、その車両の保守も納めた方が請け負うという事情があり、このために、アシュフォードという所に車両のメンテナンス工場も立ち上げて、保守もセットする、といった形の納入をしている。

また、車両以外にも、車両全体を動かす運行管理システムのプロトタイプを受注につながっている。このように現地に合わせて車両製造から運行管理・保守といった形でシステムとして捉える範囲、納める範囲をどんどん広げながら取り組んでいる。

こうした取り組みを俯瞰すると、諸々の課題というものはあるが、やはりシステム構築や実装するお客様の構造が違うというところが、非常に大きく効いてくると考えている。海外だけではなくて、日本でも一部導入されていく流れはあるかと思う。たとえばエネルギー分野では、電力分野では、自由化と呼ばれ、発電、送電、配電、需要家などが分離されていくといった形の中で、それぞれのステークホルダーのリクワイヤメントだとかが違ってくる。これをどうしていくか。鉄道では、日本では、車両から何から全体を鉄道会社さんが持っているが、イギリスでは上下分離といった形で、インフラと車両、輸送事業とがそれぞれ分かれている。こういった構造を考えながら、その前提条件をきちんと把握した上での実装というものが必要となると考えている。以上。

（講演スライド掲載なし）



藤田政之氏 講演

JST-CREST の「分散協調型エネルギー管理システム構築」に関する領域の総括をしている。この CREST 領域では、領域の運営上でいくつか新しい試みをしているので、今日はそれをご紹介して、具体的な話題提供にさせていただければと思う。

はじめに、ご来賓の安藤様の言葉の中にもありましたが、第4期の科学技術基本計画からお話をさせていただこうと思う。この第4期の科学技術基本計画は1つ前の第3期のものといくつか異なっているものがある。1つは、第3期のものは重点的に推進する分野というものをある意味縦割りに決めて、そこにファンディングをして社会をよくするように科学技術を進めるという方向性だったが、第4期は、むしろ吉川先生もおっしゃっていた社会的期待に対する重要課題を解決する、というように分野横断、横軸にするように基本計画が組まれたというところがある。

そういう課題に具体的にどのようなものがあるかという、たとえば再生可能エネルギー、分散エネルギーシステムといったキーワードがあると思う。第4期の計画が決まったのは2011年の8月で、私が聞いたところでは、その年の2月、3月にかけてほぼ策定は進んでいたが、3月11日に東日本大震災が発生して、この着目点がより重要になったのだらうと思う。

もう1つは、第4期のものでは、領域横断型の科学技術の強化というのがイクスプリシットに謳われるようになったと聞いている。たとえば今日の話題であるシステム科学技術とか、領域を横断的にする、ということが明文化された。

今日のシンポジウムを主催されている

JST-CRDS のシステム科学ユニットの中では、その年の夏にはもう先駆的なワークショップを、「再生可能エネルギーと分散制御システム」と題して行っていて、この分野が急速に進むようになったのではないかなと思う。

また、昨年6月、CSTP（総合科学技術会議）が出された、いわゆる「総合戦略」の中では「システム化」というキーワードが「スマート化」「グローバル化」と合わせて重要な3つの戦略的視点となっている。大きな流れとしては、1つの方向性が見えてきている、ここ最近ではないかなと思っている。

その中で、2012年の2月に文部科学省が戦略目標として出された4つの中の1つに、この「再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需給の最適化を可能とする分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論、数理モデル及び基盤技術の創出」があり、その結果として、今日お話しする JST-CREST の研究領域が立ち上がった。

先ほど木村先生のお話にもあった、「創出で終わってはいけない、卒業しなければいけない」ということについては、この CREST 領域の名称は、「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」と、半歩くらい、はみ出るように頑張らせていただいている。

この題目の中に大事な言葉、キーワードがいくつかある。1つは「エネルギー管理システム」。普通、エネルギーの問題というと、物理現象や化学反応を捉えて、いかに新しい発生源を作り出すかという視点が往々にして主流であり、それはそれで、ものづくりとして大変大事だが、そうとだけ捉えるのではなく



て、そのマネジメントをシステムとして考えるとことを新たに入れること、つまり、「ものづくり」に加えて「ことづくり」も合わせて一緒に考えていくことが大事なのではないか、と信じている。

「もの」と「こと」という考え方で、私がよくお話で使わせていただくのは文化財の例である。よくある有形文化財と無形文化財というのは、ものに触れてみることができるというのと、そうではないが確かに認識できるというもので、両立されている。「ことづくり」というのも無形のインターンジブルな大事な科学技術として捉えていくことができると思う。

また、「分散協調」も大事なキーワードである。集中とか中央とかがあるわけではなくて、自律分散的に、ということである。それから、「理論」と、戦略目標にある「数理モデル」も大事なことで、物理現象や化学反応だけではないところを捉えようとしたときに、サイエンスとしていちばんキーとなるのは数理科学である。数学といっても何百年も解かれないような定理ばかりではなくて、社会に役に立つ数理科学、吉川先生がおっしゃっていたメタフィジクスなどかもしれませんが、いうのもたくさんある。そういうものを結集する必要があると考えている。

「融合展開」について。この研究領域では、

いわゆるステージゲート方式というのをとっている。普通の CREST と違い、この領域では、ファーストステージの 3 年間とセカンドステージの 5 年間に分け、真中にゲートを設けている。普通の CREST では、一度採択されると 5 年間、おおむね何もなければそれでやれるという 1 個のステージである。本 CREST 領域のファーストステージでは比較的小規模、ないしは中規模くらいの研究テーマを複数採択して、この中では単に競争するだけではなくて、協調していただいて、3 年目に大きな最強チームになるように活動していただくという形で進めている。たとえば図のレースで A、B、C が再編されて  $\alpha$  になるとか、D、E、F が再編されて  $\beta$  になるが、もしかしたら H のように終了してしまうものもあるかもしれない。これは研究領域の運営上、非常に大きな試みではないだろうかと考えている。

時間軸で 8 年間あるが、これを縦軸のほうで見ると、領域横断型というもので、たとえば、制御する、最適にする、学習するといったシステムサイエンスっぽい科学とか、機械、電気、情報通信などの工学の様々なスペクトルの分野、また、たとえば再生可能エネルギーはお天気様次第ですので、陽が照るか、雲がかかるか、風が吹くかで大きく変わるので、いわゆるサイエンスの分野の気象の方に何人も入っていただいている。電気は需要家に使われて初めて社会的な価値、経済的な価値が出るので、エコノミストの有力な方にも入っていただいて、領域全体が展開されるという構造になっている。

これからの科学技術というのは単純な直線の延長線上にあるとは考えていないので、1 つはハイブリッドにして組み合わせるという手法を採ろうと思っている。それは異種のを混ぜ合わせるという手法だが、そういう

狙いを1つ考えている。もう1つはネットワークでつながる、つなげるということを意識して、今後のことを考えている。

最後に、研究領域というのは従来閉じていることが多かったし、中はむしろ競争している場合が多かったのではないかと思うが、この領域ではむしろオープンでフレキシブルにさせていただこうと思っている。参加されているのは大学の方、研究所の方、企業の方、様々で、産学連携などもたくさんある。行ったことがある学会、行ったことがない学会もあるので、たくさん交流していただいて、行ったことがない学会誌に記事を書く、行ったことがない学会で特別講演やパネルディスカッションをするというのをエンカレッジさせていただいている。

また、施設見学調査を行っている。エネルギーの供給側だけではなく、需要家、あるいはコミュニティや自治体、行政などへ行って、いろいろなものを見てきている。たとえば、北は北海道の宗谷岬にある大きなウインドファームを見学させていただいた。南は、たとえば北九州市等もある。都会では横浜のスマートシティプロジェクトを見に行っている。繰り返しになるが、先月はハワイのマウイ島のNEDOの実験も見てきた。そういう様々な

仕組みを入れている。

そういう中で、様々な社会実装を意識しながら研究領域の運営をしている。エネルギーマネジメントは面白いことに、ただテクノロジカルなだけではなくて、マーケットがあってエコノミーが非常に関連してくるし、政策や規制といった意味でも、非常に社会科学的なものである。ソーシャル、エコノミカルでテクノロジカルなシステムとして捉えなければいけない。まさにこれからチャレンジするのに相応しい大きい課題だろうと思っている。


最後に1枚だけ付け加えさせていただいた。基調講演をされた Khargonekar 先生はじめ NSF のご協力と、ドイツの DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) のご協力をいただいて、先月、国際合同ワークショップをハワイで開催させていただき、学際だけではなく、国際にも取り組み、いろいろ専門家で議論をし合って、NEDO のスマートプロジェクトも見学させていただくような、従来にない試みをさせていただいた。新しいことが何か起こるかもしれない CREST の研究領域として、これからも運営をさせていただきたいと考えている。以上。

藤田氏 講演スライド

Tokyo Institute of Technology

# CREST研究領域の新たな試み

## ～日本再興に向けたシステム構築と社会実装～



JST CREST 「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」

**研究総括 藤田 政之**

JST CRDS科学技術国際シンポジウム

**FEB 21, 2014**

Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

1

Tokyo Institute of Technology

# 第4期科学技術基本計画(AUG 19, 2011)

(4th Basic Program for Science and Technology)

第3期科学技術基本計画  
(重点推進4分野、推進4分野)

第4期科学技術基本計画  
(重要課題解決型、分野横断型)



**再生可能エネルギー**の普及の大幅な拡大に向けた革新技術の研究開発、**分散エネルギーシステム**の革新を目指した研究開発等の取組を促進する。

**領域横断型科学技術の強化**  
**システム科学技術**など、複数領域に**横断的**に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

2

Tokyo Institute of Technology

# CRDSシンポジウム

科学技術未来戦略Workshop (AUG 6, 2011)  
by JST CRDS システム科学ユニット

**科学技術未来戦略ワークショップ報告書**  
**再生可能エネルギーと分散制御システム**

平成23年8月6日(土)開催

**総合科学技術会議**  
COUNCIL FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY

科学技術イノベーション**総合戦略**  
Comprehensive Strategy on Science, Technology and Innovation (JUN 12, 2013)

4. 科学技術イノベーション政策推進のための3つの視点  
「**システム化**」「スマート化」「グローバル化」  
の3つの戦略的視点

<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/honbun.pdf>

Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

3

Tokyo Institute of Technology

# 文部科学省戦略目標 (FEB 10, 2012) & JST CREST

(MEXT Strategic Objective)

再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需給の最適化を可能とする、分散協調型エネルギー管理システム構築のための**理論**、**数値モデル**及び**基盤技術**の創出

**<達成目標>**

- 再生可能エネルギー需給の状態把握・推定・予測に関わる理論及び基盤技術の創出
- 多様なエネルギーの需給制御による分散協調型エネルギー管理システム構築に関わる理論及び制御基盤技術の創出
- 需要側と供給側のエネルギーネットワークの統合メカニズムと人間行動を考慮したエネルギー管理の最適化及びシステム全体の社会的合理性を追求する理論及び基盤技術の創出

**JST CREST 研究領域 (MAR 22, 2012)**  
**分散協調型エネルギー管理システム**構築のための**理論**及び**基盤技術**の創出と**融合展開**

Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

4

Tokyo Institute of Technology


# ステージゲート方式

JST News, No. 1, 2014

## CRESTが挑戦する新たな研究運営手法

藤田 政之

この研究領域は、再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需給の最適化を可能とする分散協調型エネルギー管理システム構築を目指す。



各分野の要素技術を研究するチームを採択し、3年以内の研究を実施します。この間に、異分野間の融合を進めつつ目標を共有し、真の異分野融合チーム（最強チーム）を、3年後に再編します。


Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

5

Tokyo Institute of Technology

# 領域横断型研究チーム

CREST 分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と**融合展開**



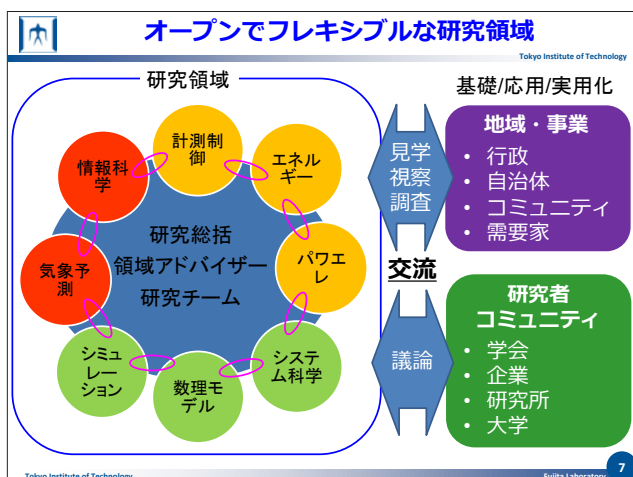
**知の統合**

異なる研究分野間に共通する概念、手法、構造を抽出することによって地の互換性を確立し、それを通してより普遍的な知の体系を作り上げていくこと

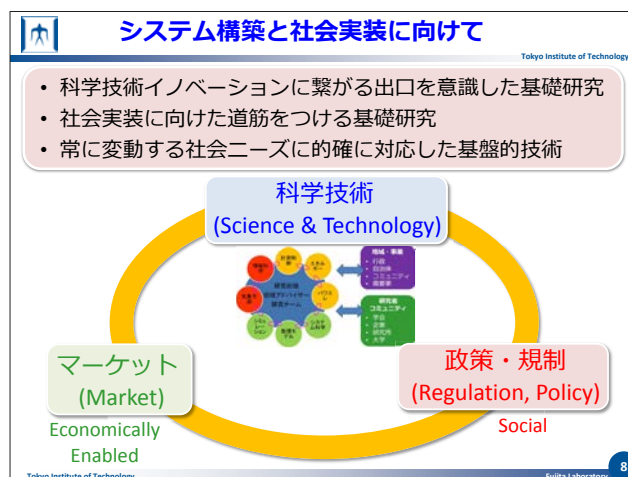
Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory

6





7



8

**JST-NSF-DFG国際合同ワークショップ(JAN 1/11-13, 2014)**

2014 Joint JST-NSF-DFG Workshop  
Distributed Energy Management Systems  
Hilton Waikiki Beach Hotel, Honolulu, Hawaii USA  
January 11-13, 2014

NSF (米国国立科学財団)、DFG (ドイツ研究振興協会)と国際合同ワークショップを開催。<http://www.jst.go.jp/report/2013/140120.html>

国際 議論 見学

9



## ディスカッション



**有本** 論点として、上流側のシステム設計で求められることは何か[論点1]と、これはかなり具体的な話ですが、システムの社会実装を拒むもの[論点2]、それから[論点3]として、人材の育成確保、という課題を設定しましたが、もう今日の話の通りで、これら自身がもうインターコネクトしている。まず、プレナリーセッションと、それからパネリストの方々のスピーチを踏まえて、皆さん、やはりインスパイアされた思いがあるのではないかと思います。まず、藤野先生から何かあれば。

**藤野** いつも吉川先生のお話は、僕はよく分からなくて、神様のようなお話を聞いている気がするのです。私はシステム設計なんて考えたこともなくて、我々はどうしても設計とかデザインという言葉で使うので、要するにプランするか、デザインするかという言葉とほとんど同じかなと思っています。我々は、先ほどもご紹介させていただきましたが、土木があって、社会があって、どっちかという技術とか自然との翻訳者みたいなことをずっとやっていました。だから自然の中に人間が絡むと、システムの理論で人間がどういうふうモデル化されるのかな、と考えます。そういうモデルがあれば非常にいいのですが、実はそこがいちばん難しいのかな、とも思い

ます。無意識のうちの人間がどう行動するか。実際の点検とかああいいうプロセスにも人間が絡みますし、ユーザー側にも人間がいますし、そんなことをいつも考えています。我々はいいも悪いも違うやり方をやっているのかな、と思いました。そんなところです。

**有本** 今、藤野先生が言われたところ、人について、人材養成にも絡むものです。教育の現場にもおられるし、あるいは今度は人が大学を卒業して、鮫島さんは大学の卒業生を現場で使う側ですが、こんな連中は全然ダメだというようなところもあるのではないかと思います。そこについても、それぞれの先生方からコメントがあれば。藤野先生もうちょっとそこら辺どうですか。

**藤野** 一般論を言えないのですよね、人材育成って。ただ、私は比較的横串を刺すのが好きなのです。なぜかという、若いとき筑波大学にいたのです。筑波大学には建学の精神があり、工学部に土木工学科とか建築学科は作らなかったのです。構造工学、そこには船の人がいて、ロボットの人がいて、医用工学の人がいました。自分がやっていることを理解してもらわないといけない。そうすると、ほかの人は一種の外人なので、理解してもらうことの訓練といいますか、大事さというのは、やはりああいいう環境の中にいると、自然に芽生えます。もう1つ、東大の工学部の総合試験所にもいましたが、吉川先生はその頃、所長か何かしておられたかもしないのですが、あそこもなかなかいいところで、必然的に違うところにポコッと入れられて何かさせられる。黙っていると私もいつも土木の部屋に入っている訳ですので、だからやっぱり無理矢理でもそういうところに人間を置くということが若いときにいろんな形で思考が変わるのではないかと。乏しい経験ですけど、ち

よっと感じます。

**松本** 私の担当しているところはソフトウェアを中心としたシステムの開発なのですが、今日の皆さんのお話を聞いていて、やっぱりシステムの開発、特に IT システムについては科学がないな、というのを非常に実感しました。現場では本当に泥臭く、皆、開発、設計を進めているのです。直感とかノウハウ、勘でやっているということです。エンジニアリングが少しずつ入りつつあるという実感はあるのですが、やはりサイエンスはほとんどないな、ということは今日、非常に印象として残りました。

ただ、実際のシステムの開発をしていますと、やっぱりいちばんの問題というのはステークホルダーがすごく多くて、それをいかにうまくまとめていくかということです。そこがいちばん難しいのではないかなと思います。特に企業の中ですら経営部門、ビジネス部門、開発部門、そういったいろんな部門があって、その部門間でいろんなリクワイアメントがある。さらにオペレーションをやる運用者ですとか、あるいはもう本当にエンドユーザー、そういったところからのリクワイアメントをいかにうまくコントロールしてシステムを作っていくか、といったようなところがやはりいちばん難しいところではないかな、と思います。そこがもう少しサイエンティフ

ィックにできるといいのかもしれない。

また逆に今度はそこをできる人材がいるのかということ、これは本当にそんなスーパーマンはいないので、そういう人間をどうやって育てていくかというのもやはり大きな課題じゃないかな、と思います。

私も以前企業にいたのですが、企業の中ですと事業部門と開発部門を定期的に行き来させて、両方の経験をなるべく踏ませていくようにする。あるいは本当に客先にまで実際に行って何年間かそこで修行を積んでこい、というようなことをやる。そういった経験を積み重ねていくしかなく、体系的に育てていくというのがなかなかできにくいのが現状ではないかな、という気がします。

**有本** 先ほどの発表で言われた第三者が品質を確認する、保証するという話についてですが、それはそれぞれのインストールする社会、日本国だけではなくていろいろな所もあると思うのですが、もう少しそこら辺を、今、どういうことをやっておられるのかについて説明をしていただきたい。非常に大事なことを言われたのではないかなと思うのです。

**松本** 現在、我々の作成したガイドラインに基づいて実際にスタートしたのは、パッケージソフトウェアの認証制度というものです。これはパッケージソフトを開発する業界団体が主体になって、そこでいろいろなパッケージソフトを第三者がきちんとチェックして、大丈夫であれば、品質的に問題なければ、認証を与えるというような制度で運用しております。まだ日本の国の中だけですが、いずれは海外のそういった認証の仕組みと連携しながらやっていくということも、今、考えているところです。そういった仕組みができてくると、利用者から見ると、たとえば今スマ



ホのアプリは何がダウンロードされているかよく分からない状況になっているのですが、徐々にそれが「ある認定マークのついたアプリが来れば、とりあえず安心して使える」というようなことが少しずつ実現できるようになってくるのではないかと思います。

**有本** それでは次、鮫島さんですが、私が非常に印象深かったのは、ちょっと私の言い方で申し訳ないですが、単品バラ売り、売り切りで儲けてきた企業が、これだとダメだということになって、今、猛烈な勢いで「システムだ」と言っている。そのシステムも、売り切りじゃなくて、メンテナンスやり、オペレーションやり、15年くらいはちゃんとやった上で向こうに引き渡すとかいうような、非常に厳しい状況じゃないかと思うのですが、非常にトライアル的にやっておられると思うので、ちょっとそれも含めて何かお気づきの点がありましたら。それから人（人材育成について）ですね。

**鮫島** 決してこれまで単品売り切りだったか分からないのですが、単品であっても、今日の基調講演にもありましたように、どの範囲をシステムとして捉えるかというところだと思っています。お客様が明確で、この範囲のものとこの範囲のシステムを、と決まればそのシステム、発電機なのかもしれませんし、発電プラントなのかもしれません。ですから



そういった形で納めることができていたのかな、と思います。ただ、マーケットとか環境が変わると、やはりどこまで納めるか、どこまでパッケージ化してサポートするかといった範囲が必然として変わってきます。その中で当然ながらシステムのことを念頭におきながらやっていかなくてはいけない、そういうふうに変化している結果だと捉えています。

それともう1つ、人についてです。今日の前半の基調講演で大変感銘を受けまして、アナリティクスだけじゃなくてシンセシスの方法論が充実しているといいのですが、なかなかそのシステムの構築、実装といったところでは、人間に頼る面が非常に多くあります。特に最上流のお客様のリクワイアメントですとか、その前提条件というものがどうなっているのかというのは、あらゆるものが定式化されて作り始めるのだったらいいのですが、全体を俯瞰するのは実は非常に難しい。しかも、国内だけではなくて海外の場合ですと、現地の人と一緒に、現地の仲間と一緒にやる、といった形も重要になっていきますので、強いと言うならば人のシステム化といいますか、そういったフォーメーションといったものもあわせて重要になってくるのかな、と考えております。

**有本** あとで、共通的にこの人材の養成とか確保というところは議論させていただきたいと思います。では藤田先生。

**藤田** それではちょっと思いついたことをお話しさせていただきますが、人材を育てることについてです。大学で研究していると思いますことは、やはり大学ですることの多くはタックルすべき問題がもうギブンで、それを表すモデルのようなものもギブンで、あとどう解決するか、設計するか、ということについて偏りがちだということで、反省してい



ます。実際にこういう CREST の研究領域などを担当させていただくと、「問題そのものが何なのか」というのを、発見したり発明したりしていく能力が大変重要なのだと思います。それをアカデミックに取り組むためのモデル等の表現形式をどうするかというところが実はいちばんクルーシアルなファクターになっていて、ついつい大学はそれが与えられた後の方法論をしがちになっているのではないかな、と思います。特に人間とか社会を取り込んだ技術にしないといけないときに、その表現というのが非常に不確かですので、苦しいな、と思っております。

2 番目の点は、私自身の研究分野である制御理論で有名なものに、限界の理論というのがあります。これ以上はどうしてもできないというような限界の理論です。研究のファンディングなんかを付けるときには、ややもすると「限界」というのを意識せずにやっているのではないだろうか、と思うようなこともないのではないかな、と思うのです。ですから、物理学でも制御理論でも、ここから先はもう証明されていてできないのだ、ということ意識した中でどう展開していくのかということを考えることが本質的にはイノベーションなどに向かつては大事なのではないかと思います。

最後の点は、今日のメインピックスである社会実装についてですが、エネルギー・マネジメント・システムというのはまさに論文を書いているだけではダメなもので、最後は社会実装までいかなければいけません。先ほどのコメントにもあったように、やってみればやってみるほどステークホルダーの数が多くて、日本の政府の中だけで見てもたくさんの省庁さんに関わっていただかなければいけませんし、これを世界でするとなると、もっと多くなります。そうすると、やはりそれぞれのお立場でおっしゃっていることがバラバ

ラになってしまって、非常に部分的な取り組みや解決にしかならないような感じがして、私自身も残された期間の中でなんとかこれに挑戦していきたいな、と思っているところです。以上です。

**有本** もう 1 つ、今日はファンディング・エージェンシーの人も多く来ておられると思うので、先生は 2 つほど非常に大事なことを言われたと思うのです。オープンでフレキシブルな研究領域、それから、その中で競争と協調をやらせること。これは言葉では言えるのだけど、非常に難しいところだと思うのですが、それに関して何かコメントを。

**藤田** こういう研究領域の運営方法というのは、JST のサイドで一生懸命考えられてご提案をなさっていると伺っています。そして、私はそういうふうにすることを引き受けた唯一の研究総括だとも伺っておりますので、そう言う意味では本当に難しいやり方だと思います。私の担当させていただいている領域は、2 年ほど経とうとしているところですが、現状ではうまくいっている方ではないかと自分では考えております。

1 つには、選考のときに、あまり唯我独尊のような感じのプレゼンをする方ではなく、協調し合おうという感じが受け取れる方を採択させていただいているという点もあります。あとは達成したことよりも、のびしろの方を見させていただいて、のびしろが多い方のほうがそういうフレキシブルなことに対して対応していただけるのではないかと思います。集まっていたいた研究代表者の方々や研究者の方々は、ほとんど大多数がそういう方で、メカニズム的にも多少は入れさせていただければ、領域の会議というのはかなり大規模なのですが、皆さんわいわいやって、「さきがけ」プログラムと同じような感じで泊まり込みでもいろいろさせていく。日本人でしょうかね、

飲み会もあると仲良くなる、とかいうのもある気もしますが、そんな様々なメカニズムを凝らして、これから先もやらせていただきたいと思っています。

**有本** 藤野先生にお聞きしたいのですが、今、省庁連携の SIP というものと、ImPACT というかなり DARPA 型と言っているもの、そういう大きなプログラムが総合科学技術会議（CSTP）主導でいよいよ走り出そうとしています。藤野先生から、自分はもうやりたいか所信表明を後から伺うということにして、その前に、木村先生、ワンラウンド終わりますので、ユニットの取りまとめ役として何か。どうぞ。

**木村** 今日の 3 人の基調講演を伺っていちばん感じたのは、やはりシステムというのは、むしろ私が考えていた以上に現代文明の非常に重要なキーワードであるということです。**Khargonekar** さんのお話の中に、システムという言葉は英語の中でよく使われる 1500 語のうちに入っているという話がありました。つまり、一面では日常化している言葉なのです。だけど、一方ではそこに科学技術のある種の革新が込められているような気がしています。その 2 つの側面をもつシステムという言葉、これがいかに重要であるか、大げさに言えば文明を支えていくものではないかという気がしました。非常に厳粛な、ちょっと大げさに言えばなのですが、そういう気持ちになりました。

一面、システムに携わっている自分たちがいかにまだ何もやっていないかと、なんということだ、と感じました。NSF にしても、中国の方にしても、非常に頑張ったためにあそこまでいっているはずなのに、私の方はむしろ日本の文明風土とか、そういう他者の問題にすり替えたような点もあったと思います。

これだけ文明のキーワードとして浮かび上がってきたシステムという言葉を引き受けて、未踏地なのですが、やれるかどうか、どうなるのか、これから頑張りたいと思います。

人についてもちょっとよろしいですか。まさにシステムというものはすごく難しい言葉なのです。システム科学なんていうと、「君の言っているのは分からないよ」と言えば今のところ済むのです。その問題点は、やっぱり、どなたかの言葉にもあったと思うのですが、目に見えないものということです。目に見えないから難しいという、そういう表現がおそらくいちばん当たっていると思います。最近の人、特に学生さん、目に見えないものを見ようとする能力と意志が欠けているのではないかと思います。目に見えないところの中に非常に重要なものが隠されている、ということをもう少し意識して、そういう学生が増えるように教育をしていただければと思います。以上です。

**有本** これだけたくさん今日ご関心の方々が会場に居られますので、まず 3 つ 4 つくらい、会場からクエスチョン、あるいはコメントをいただいて、また先生方に議論するという仕組みでやりたいと思います。

**会場 A 氏（日立製作所 0B）** 人の教育云々のお話があったのですが、教育ということについて。人材を育てるという問題ではなくて、資質、人を人として育てる、要するにいろんなことに関心を持ったり、それから先ほど木村先生がおっしゃったような「本来、今までの日本人は持っていた」、そういう資質を育てる教育というのがやはりもっと社会的にシステム化しなきゃいけないだろうと思います。大学に入ってきたときではもう遅い。ですから、幼児教育からそういうところを作り上げていかなきゃいけない。そうすると、結構骨



のいる仕事になると思うのですが、そこら辺ですね。実装という点では、たとえば日立なんかは創業の精神のところにいろいろあるのですが、「技術をもって社会に貢献する」と。では、それを実際にどうするか。世界的に弱肉強食の欧米の企業などとどう戦っていくのか。そういう中で本当に社会に貢献することを追求するような人材を育てていく必要があるだろう。とにかく、人を人として育てる社会的な教育システムが必要だと考えております。

**会場 B 氏（エーザイ）** 製薬会社のエーザイにおりまして、アメリカに 5 年ほど居たのですが、現在は見ても分かるように高齢者に入りかけている年代になっています。非常に刺激的な情報といいますか、感銘を受けながら講演、お話を聞いておりました。システムそのものになってくるのですが、心臓を皆さんお持ちだと思うのです。心臓が悪くて、どうしても埋め込みのペースメーカーが必要で、実際に埋めている人を知っているのですが、まず日本製のものが 1 つもないということは皆さんご存じですか。現実には。日本で製造されているところはないんですよ。全部アメリカ製であり、ドイツ製であり、イギリス製であり、フランス製である、ロシア製もあるのです。なのに、なぜ日本では、このシステム、ワンチップの上にすべてのソフトウェアが織り込まれて、リチウム電池で 5 年くらい埋め込めばもつということなのですが、なぜ日本ではできないのですか。

今この壇上におられる方、すごくいろんな面で専門的な分野ですけど、ただ、なんと言いますか、システムの的に実際に関わってきている人はあまりいないような印象を受けました。というのは、戦略という言葉を使っていますが、戦略をどう定義するかということも質問したい。だから、ペースメーカーは

日本でなぜできないのか、理由をご存じであれば教えてもらいたい。私も当然ある意味では知っているのですが。医学部でちょっと研究もしているので。ということで、よろしくお願いします。

#### 会場 C 氏（東芝ソフトウェア技術センター）

人を教育するということの中で、もう少し具体的なところを伺いたいと思っております。先ほど松本先生がおっしゃられていた通り、これを実現するにはスーパーマンがかなり要ると思います。そのスーパーマンをどうやって育てるのか。私としてはあまり育つ思いはないので、そういう資質をもっている人を見つけてくるのかな、とも思うのですが、ぜひそういうところの方策を皆様から伺えるとありがたいです。以上です。

**会場 D 氏（伊藤忠商事理事）** システムの問題をビジネスに当てはめると、どなたかからご指摘があったように、水プロジェクトにおきましては、日本は逆浸透膜とか淡水化プラントで世界トップの力がありながら、トータルシステムでは全くフランスのスエズとかヴェオリアに勝てない。利益の大きなトータルシステムでどういう風にして勝って行くのだ、ということ、企業でも今検討をしていると思います。さらに実はここにおられる日立さんもそうですが、原子力発電所、これはより一層システムビジネスである。しかも、東芝さん、日立さん、三菱重工さんという 3 社がまさにいろいろ努力をしておられるのですが、世界における原子力発電所ビジネスの中核メーカーのポジションにこの日本の 3 社があるだけに、日本としては原発プラントというシステムビジネスにどう取り組んで勝っていくかということ、真剣に、現実的に考えるチャンスがある訳です。

したがって、申し上げたいことは、た

たとえば原発プラントにしても、産学官で協力しながら支援する価値が、単にビジネスをとってもらうためだけじゃなくて、日本がビジネスでも研究開発でも、システムに強くなっていくためにこういう協力をする、非常に重要なチャンスにあると思います。

あと一点、簡単ですが、実は日立さんが英国の原子力発電所に出資された。東芝さんも出資された。これの意味するところは、サプライヤーとユーザー、両面を持った方がやはりシステムのビジネスを理解して、それに勝っていくためにはベターなのだと。ベターなソリューションを提供するためには、サプライヤーサイドとユーザーサイド、両方に絡む、両方を理解するということが重要です。これは、すなわち基礎研究と社会実装の関係をどのようにやっていったらいいのかというためにも、非常に重要なヒントがあると思います。

したがって、私のコメントの結論としては、産業界ですでに現実問題としてシステムへの取り組みが進んでおりますので、今日お話いただいた先生方におかれましても、産業界で起こっていることに十分触れながら、このシステムの問題に取り組んでいただくと、より次の新しい次元に行っていただけるのではないかと思います。以上です。

**有本** 今の4番目の方(会場D氏)が言われたことについてですが、まず最初に、私から、どれくらい大学が決意をしているのかについてですね。去年、朝日新聞で一連のシリーズがあったと思います。スタンフォードとかバークレーとか、そういうトップのユニバーシティだけでなく、ボストン郊外のオーリンカレッジという、思いっきりデザインをやるとはっきり表明して、そこにどんどん優秀な人が集まるというような仕組みがあります。それも今度はそこだけではなくて、それがエ

クスポートされて、ドバイであるとかシンガポールでもできつつあるという中で、これを先生方に突き付けるのは申し訳ない。最後に吉川先生から何かコメントをいただきたいと思いますけども。

もう1つ申しましょう。もう7~8年前になるのですが、日本の大学の工学教育のやり方について、JABEEの世界的な評価の仕組みがあって、そこに入ろうとしたときに、海外から審査を受けて、「日本はデザインとかシステムシンキングとか、あるいはそのトレーニング、それらが非常にプアである」という致命的なことを言われた。その後少しは改善があったんじゃないかと思います。これは申し訳ないですが、藤野先生と藤田先生に。それでは藤田先生から最初に。やっぱりCRESTとかでそういうのも変えようというところもあるんじゃないかと思いますので。

**藤田** はい。大学の機能として、本当は研究と教育と表裏一体ですが、教育の方は、たとえば文部科学省の中でも高等教育局とかそういうディビジョンの方が担当されていると思います。研究の場合と同じで、皆さんすごいフラストレーションがあって、いわゆる限界というものがあるのを皆さん認識されていて、何かないかとなっているのは、これもまた表裏一体で同じではないかと思うのです。高等教育の人材育成に関連しては、文部科学省さんも様々な手をずいぶん長い間出してらっしゃっていて、今現状で行けば、リーディング大学院と呼ばれているプログラムが典型ですが、いかにグローバルリーダーを作り出すべきか、ということを一生涯懸命やっていらっしゃいます。藤野先生の大学や私たちの大学でもそういうのに取り組んでいるところですが、もちろんこれも答えはない訳です。私が担当させていただいているCREST研究領域と同じで、どうすればいいかまるっきり分からな

い。そういう中で、それぞれが思うやり方で人の育て方というのをしている訳です。私が所属している大学ですと、たとえば道場形式というのを作って、マスからマスへという形が本来はシステムが目指したものかもしれませんが、ある意味戻って、インディビデュアルから極めて少人数という、塾、道場の形へ戻るとい形式もハイブリッドにしながらやっていく、というスタイルも担当の教授方が模索しながらやられているところかと思えます。ディスカッションすることは大変すばらしいことで、答えは、「こうです」とどなたも答えることができない問題で、皆さんで考えながら進んでいくということが、この段階で言える1つの答えですし、いくつかのトライアルはあると考えております。

**有本** そういう育て方をした若い学生なり、ポスドクがちゃんとしたパーマネントなポストをゲットできるのか。古典的なキャリアパスでずっと上がって来る今の仕組みを変えない限り、お金があったら、リーディング大学院なんかはお金で引っ張っているからやるのだけども、「その後本当にどうするの?」、というところは常に、非常に辛いところですから。さらに問題のレベルが上がってしまっているんで、まず藤野先生からお答えいただきたいから。

**藤野** 私どもは土木ですから、ものの設計というのは基本的に大事な部分を占めていますので、そういう意味ではいろいろな形でデザイン教育をやっています。私どもの専攻だけの話なのですが、30年前から英語教育を大学院でやって、留学生を引き受けて、一応QSランキングで世界2位とか3位を頂いているのです。やはりそれだけ卒業生もたくさん出していますし、いつも研究室には留学生がいることが今は普通になっています。

それから私個人はいつもサマースクールというのを韓国とアメリカと中国の先生とやっています、うちの研究室の学生の何人かも、そこにいき、かなりインターナショナルな、つまり他の国の学生が何をしているか、何を考えているかを知らせることが、いちばんの教育ではないかと思っていまして、そういうチャンスはずいぶん作っているつもりです。いくらこっちが教えても、思わない者は思わないので、やはり同世代がどういうことを考えているかをいろんな形で知るということが非常に大事じゃないかと思って教育をやってきたつもりです。

**有本** せっかく4つの質問があったものですが、ペースメーカーについてはちょっとこの方々は気の毒なような気がします。申し訳ないです。さっきのご回答の件は、また誰かに聞いていただくことにして、申し訳ないです。

松本先生にお聞きしたいのは、ソフト開発における科学が入っていないという話です。これは大事なので。これが日本の非常に弱いところじゃないかという気がするのですが、何かもうちょっと踏み込んでお願いします。

**松本** 私自身も、どうやって科学をうまくソフト開発に持って行けばいいのかということに関して良いアイデアがある訳ではないのですが、やはり今日のお話をいろいろ聞いてきて、システムというのをもうちょっと幅広く捉えると、確かにそういう科学的に整理ができる可能性はあるな、という気はいたしました。ステークホルダーが多くなったというお話を差し上げたのですが、そういう意味でいうと、人間の要素も考えていかないとイケない訳です。人間の行動心理だとか、オペレーターがどういうことで間違えるかとか、そういうことも含めてシステムを設計していかないと、本当に正しい安全なシステムができません。

くなってくる。利用者がどういう使い方をするのかということも含めて、そういったような形の人間的な要素も含めると、そこに何かのサイエンスを使って行動心理学的にそこを整理していくとか、それをシステム開発につなげて行く。そういったことを徐々にやって行くということくらいかな、という気がします。あまり具体的にすぐには思いつきません。すみません。

**有本** 鮫島さん、各国の社会インフラ、例えばトランスポーター・システムでも、ウォーターでも、非常にダイバーシティのある社会にきちっと埋め込んで、メンテナンス、オペレーションまでやるという厳しい経験を現場でされていると思いますが、そのときの、フローというか、特に人材のところについて何かありましたら、お願いします。あるいは他のレギュレーションの問題でもいいのですが。

**鮫島** おそらく経験知がたくさん蓄積された後なら、いろんな人ができるのかもしれませんが。ただ、先ほどご紹介しました鉄道の例ですと、あちこちで関係者が説明しておりますが、やはり最初日本人が行って説明しても認めてもらえないということがありました。それはいいと言っているようにも聞こえるけれど、実はいいのか悪いのか、何がよくないのか、といった微妙なニュアンスがやはり分からないということで、何年かした後に現地の人間を、まさに最前線として入ってもらって、その中でいろいろすり合わせていきました。そうすると細かな要求が見えてきたり、技術は分かったけど、実際にそれが本当に動くのかどうか、現地の規格で動くのかどうか分からないとか、そういったようなことが分かってきた、といったような事例があります。

その意味で、やはりシステムというのは非

常に複雑なものを扱うから、関係する人間もものすごく何でもできる人間ばかりではないという中で、それぞれの専門家、それぞれのスペシャリな人たちというのが集まっていく。それを実際に経験しながら、経験知を貯めて、その過程で育っていくといったような形が、ある意味理想かな、と思います。時間は確かに掛かるのですが、やはりそういった進め方になるのかな、と思っております。

**有本** せっかくこれだけたくさんの方がお集りで、パネリストもそうそうたる方なものですから、目標 10 分ほど延長させていただいて、もう一度、会場からあと 3 つくらいご質問なり、コメントをぜひ頂ければ、と思います。

**会場 E 氏 (NEC の研究所)** 非常に面白いお話を聞かせて頂いて、ありがとうございます。1 つ質問なのですが、科学で法則というのは基本的に必ずそれが一致する、あるいは一致することを求めていく。ただ、システムという、この最適解というのは本当にあるのでしょうか。システムを作るというときに、答えになっていけばいいわけで、それっていくつも答えがあるのかもしれない、ということをもまず発想しないといけないかもしれない。そうすると、それは理系の考え方と文系の考え方をミクスチャーしたもので、元々文系で言うと、たとえば経営学はそういう方向に向かっていったような感じがしていて、その人たちは、こういうモデルを考えるだとか、たとえば事例を研究してみて、そこからモデルを抽出して抽象化したものから何か作り出したとかということをやっています。そういう手法を研究しているような気がします。システムということを考えるときに、アプローチの仕方が少し違うのではないかな、ということをも少し感じていて、その辺のところを皆さんどのように考えられているか、お聞きした



い。

**会場 F 氏（東北大学）** 元トヨタ自動車に現在東北大学です。藤田先生がおっしゃいましたステージゲート方式は非常にいい方法だと思います。私、最近ちょっと JST に関係したのですが、そのときに正にそのことをご提案したのですが、そのチームでは採用されなかった。私の質問は、JST さん自身がそういうアイデアを持っておられるとしたら、この問題はどこにあるのでしょうか。

**会場 G 氏（慶應義塾大学）** 慶應義塾大学のシステムデザイン工学科 2 年の学生です。僕は今システムデザインというところで、電気回路から制御、設計、力学、情報系と授業でいろいろ学んでいるのですが、学んでいて思うことは、何か内容が浅いということです。いろいろ学ぶのはいいのですが、広く浅くという感じになって、これでいいのかな、とちょっと心配があるのです。あと、さらに社会全体を見通せる人材ということで、社会全体を見通すには、人文科学系というか、経済とか心理学、認知心理学とか、あとは英語なども重要になってくると思うのです。そうすると、大学、人材育成という面で、時間的に足りないというか、求められている人材を育成するには、求めているものが多すぎるのではないかなと思っています。その求めているものを全部やらせようとする、どうしても内容が浅くなるということで、そのところをどうお考えなのか、お願いします。

**会場 H 氏（所属不明）** 質問は、木村先生に対してお願いしたい。非常に考えさせられるところがたくさんありました。今、盛んにシステム、システムと言われている。木村先生も「科学技術をベースとしたシステムだ」と仰られた。けど待てよ、と。社会システムというとき、まず科学技術ありきではなくて、

社会、経済、つまり市民とかそういったところがまずあって、そのプロセスが全部明らかになってから、そこに科学技術が入り、その中に人が入ってくると。すなわち、運用全体をまず見極めなければシステム全体の構造というのは明らかにできないのではないかと、ということが一点。

それから、いわゆるリスク管理とディジションメイキングが必要だといいます。たとえば今回の雪害で防衛省が埼玉県からの要求に対して「雪の除去は私たちがやる作業じゃない、それは命に関わる場所じゃないから」といったん断ったが、結局、後からやった。高齢者のお宅であれば、これは命に関わることだからと。すなわち、ディジションメイキングやジャッジメントのときに、体系的に何が大事かといったところを、はっきりさせておかなきゃいけない。個別で統合的な判断ができ、個別的にも判断できること、すなわち、その中のプリンシプルをしっかりと見極めた教育ができなければ、システム自体が動かないと言っているのです。

最後は、ミクロとマクロ。いわゆる全体の大きな統合システムから地域のところの要求が跨るだろうと思います。ミクロとマクロの整合を、情報とか、そのアクションのところ、統合的なところで吸収しないとイケない。それからミクロで、技術的にもやっていくということです。それは相乗効果でしっかり動かせる。そういうところをきちんとここに構築していかなければ、本当の社会システムにはなりえないと考えます。いかがでしょうか。

**有本** 近代科学の限界について、私が少し付言しましょう。3.11 の 1 カ月後か 2 か月後に総合科学技術会議がメッセージを出した。そこに、「科学技術の限界を認識し」と書いてあった。では、「限界を認識する活動はどこがや



るのか」というのは、未だに十分ではないのですが。それから似たようなことを学術会議も言った。しかし、未だにそういうものが、さっき仰ったように文化として日本で定着するような動きもほとんどない。これはちょっと先取りしましたが、藤田先生、せっかくさっき限界のことを言われましたので、お願いします。

**藤田** はい。大変難しいトピックスをふられていると思います。どうしても教育にしても研究にしても、複数のアクシス、軸があって、一方のアクシスをよくしようとすると、それと直行するようなアクシスはなかなか良くはならない。それが2つではなくて、3つ4つ多数軸があるというようなのが、教育でも研究でも様々な分野であるというのが、この2014年の状態ではないかと思うのです。

かつて成長が非常にあった時のように、限界曲線そのものを上にあげていければ、可能な領域というのは広がるわけで、それは望ましいわけですが、トップの大学の方々、研究者の方々、社会を引っ張る方々がいろいろ為さってもかなり飽和に近い状況だと思います。そこを抜け出る方法論というのを、皆さん、本当に問題だとお考えになって、議論なさっているのだと思います。私もこれといって思いつくことはないのですが、先ほど話したように、やはりこれまで一緒になっていなかったもの、異種を混合させるハイブリッド化ということは、何か起きるかもしれないという意味で、むやみやたらに金脈を探すような行為をするよりも、何か生まれる可能性は高いのではないかと考えております。それを単に2つでハイブリッドにするだけではなくて、もっとつながる、つなげるということを試してみて、たとえば分野融合という言葉自体もそうですが、そういうことを一步一步建設的にやっていくということが、今、私たち

にできるであろう1つではないかと考えております。

**有本** 藤野先生に、それと関連しながら、先ほどの慶應の学生さんが言われたこと、大事です。広く浅く、内容が浅くて求めるものが大きすぎて、我々若人はどうするんだ、と。藤野先生、激励も含めてお願いします。

**藤野** 私はさっきの話に戻るのですが、いつも自然とは付き合う立場でいるし、訳の分からない社会ともいつも対峙しなきゃいけないということで、何にでもとんでもないことが起こるという認識の中で、いつも動いているつもりです。さっきの学生さんに関して、確かに私も慶應のシステムデザインの先生も知っています。あそこの趣旨がいい意味では、昔だと土木だ、機械だ、電気だと分かれていたのを、横につないだ人を育てようということですよ。だからいろんなことを勉強する。

僕は、大学生活でいちばん大事なことは、やはり将来に対する自信と不安かな、と思います。ある意味での、自分が十分でないということと、かたや自信を持つということが、どこかでできれば、別に英語もフランス語も全部知っている必要は全然なくて、自分が生きていける自信が持てれば、それで学生生活は十分だと思うのです。あまり答えになっていないけど。あまり、たくさん何か勉強しなきゃいけないと思う強迫観念をもつ必要はないと思う。自分の好きなことを勉強したらいいじゃないですか。

**有本** それでは木村先生。学生さんの話と、さっきのH氏の質問に対して。

**木村** まず、先ほどの学生さんの話はまったくもったもです。私どもが、たとえばJSTの中でシステムの重要性を言うときにまったく

同じ問題が起こるのです。「深さが無い」と。「浅い」と。「やろうと思えば誰でもできることにお金つけるのか」というような、そういう反論をライフの方、あるいはナノテクの方々から受けることが非常に多いです。たぶん根は同じだと思うのです。ですから、システムの教育というのは、皆さん、非常に今まで苦勞しているのですよね。

アメリカでは、実はシステム科学と名のついた学科、あるいは大学院の組織は非常にたくさんあるのです。たとえば MIT のエンジニアリング・システム・ディビジョンというのは、非常に大きな組織なんですよ。MIT というのは非常にシステム科学工学のメッカみたいなもので、発祥の地みたいなところなのですが、そこは大学院しかとっていないのです。必ず「学部では 1 つのディシプリンを深めて来い」と。その後でいらっしゃい、という考え方が 1 つあるのです。MIT はそれを採っている。

一方、そうではなくて学部にもある大学がいくつかあります。たとえばボストン大学。これは学部でシステム・エンジニアリングの学科があります。そこではこの薄さということはどうカバーするか。結局数学なのです。ロジックにシステムのある種一般論を教える。これはある意味では結構深いのです。深さを持っています。それを学部教育で徹底的にトレーニングする。その後、今度は個別のシステムをやるということです。どっちがいいのかよく分からないのですが、ひょっとしたら慶應大学は両方の中間みたいなところかな。大変苦勞しておられるのだと思うのですが、藤野先生がおっしゃったように、苦勞もまた身の内で、ぜひ頑張っただけいいと思います。

もう 1 つの質問の、一意の解がないのではないかというお話をされた方、そこは非常に



重要な問題で、そこは吉川先生のおっしゃる可逆性の問題に関わってくるのです。ただし、評価基準さえはっきりすれば、つまり価値基準をはっきりさせると、たぶん一意解が出てくるのです。それと、不確かさというものを考えなければいけない。だから、私は非常に価値の問題と絡んでいるのではないかという気がしています。それが私なりの答えです。

それと、社会を先に考えないといけないのではないかという質問。だけど科学技術というのは、そういうことを考える以前にどんどん社会に入っていますよね。システムとして入っているのです。非常に悪いシステムとして入っている場合が極めて多い。ですから、「そこを何とかしないといけない」という問題意識から我々はやっています。非常に簡単な答えですが、申し訳ありません。

**有本** F 氏の質問に関して、JST の総務担当理事の大竹さん、答えてください。

**会場から大竹氏（科学技術振興機構）** ステージゲート方式、たぶん個別に伺わないと分からないのですが、いろいろなプログラムがあつて、たとえば非常に新しく興ってきたようなものは、あまりいちいちステージゲートと言ってもらえないと思っています。そういうものは少し育てる意味で広げたりしていることもあると思います。あとでご教示い

ただければ、中でも議論したいと思います。本当に目標がしっかりしているものは、我々のところでは基礎研究のみならず、開発ものもステージゲートを設けてやっています。またご意見を頂ければと思います。以上です。

**有本** 非常にご関心をもっていただいて。ファンディングのやり方というのは、もう世界中で今、競争状態になっていますので、こちら辺も非常に大事なご指摘じゃないかと思っています。時間がそろそろ来ていますので、せっかくですので、I want to have your comments, Dr. Khargonekar.

**Khargonekar 氏（基調講演者）** Thank you very much. It has been a very stimulating day with a lot of deep thinking and a very wide ground has been covered. As I reflect on many of the questions, I thought I would offer a few comments and remarks that may be useful. Let me begin with the issue of education and the human resource, and the question that was raised by the student.

First, some experiences in the United States that I personally have seen as a professor, as a dean, as a department chair, that, I think, were extremely valuable. One of those was a senior-level capstone design project. Almost every engineering college in the US now has a capstone design project in the final year of the undergraduate study. Many of these projects are multidisciplinary designs that involve, in many cases, teams of four to six students from different engineering departments; mechanical, electrical, sometimes computer science, sometimes even students from economics or business

school, or maybe from medical school. The team of students works together for almost a year on this design project. That has had tremendous impact on the ability of students after they finish their degree, to go in the real world and work for a company like Hitachi on teams. The point is that you have to have depth in some field. You have to be deep but you have to have the ability to work with other people with different backgrounds and disciplines together to create something valuable. So I think this idea of senior capstone multidisciplinary design project has had extremely beneficial impact on how we are educating undergraduate students. So that will be the first observation.

It ties into this concept of a T-shaped engineer – so T as in Tokyo. So depth and ability at the top to work across disciplines. Depth in something, maybe electrical engineering, maybe control systems, maybe communications, maybe in networks, but also the top knowledge that you can work with people who are different from you. This idea of a T-shaped engineer is very attractive and is changing the way we are educating students.



Three, I always thought that creativity is inward, either you are creative or you are not, and that is the way God made you. Five or six years ago, I met Sir Ken Robinson. Sir Ken Robinson is a British person and his background is education. He is the foremost expert in creativity. He came to give a lecture at the University of Florida and I had a chance to interact with him.

He said, “Creativity can be taught.” So one thing that we as educators are not doing a very good job of, especially in engineering, is how we teach creativity to the students in their educational process. Since it is something that can be learned, if we made a systematic effort to teach creativity in undergraduate education, it can have enormous implications for the future and development of the human resources. I would offer that as an additional thought, which allows me to now segue into the systems and research observations.

The discussion was very broad and I am not sure I caught all the nuances that were presented here, especially renovating Japan through building and social implementation of new systems. But it occurs to me that systems engineering and system science is inherently interdisciplinary. It is going to involve different disciplines and I was really struck by this notion of bundling science – this system of bundling science. The idea of bundling science is very interesting and I haven’t had enough time to think. But the others have taught about this issue, which I think is really, really critical to getting systems right, we in academic research particularly,

but in general, value and depth are given areas. So we have great expertise in controls, great expertise in civil engineering, structures design, etc. So a lot of knowledge is created by creating very deep silos.

What we don’t do enough of is to build very strong and robust connections between these silos. If you think of it as a network of knowledge, so you have knowledge in controls, you have knowledge in software, you have knowledge in structures, we don’t have enough knowledge of how these things connect to each other. If we get enough value creating robust pipes, robust networks where knowledge and discipline X can be leveraged in discipline Y by having these interfaces. So what we really need to create are interfaces between disciplines so that advances in knowledge in one area can be used in other area. The way this is happening in the US is this notion of convergence. So a lot of fields are converging, physical sciences, life sciences, engineering, social and viral sciences. As problems of this scale are looked at, whether it is in health, that it is in infrastructure, that it is in economic growth, we are going to need very strong connections and we, in research, need to be building those connections. With that I will stop.

有本 Khargonekar さんのように語れる人がトップにあるということが、国家の意思ですよね。それから Guo さんのほうも、インスティテュート・オブ・システムズ・サイエンス、こういうのがナショナル・インスティテ



ユートとしてあるということが意思ですよ。我が日本国は、政策文書にはやっと思いき着いた。それをどうやって具体的なところに落とし込むか。ファンディングの話もあるし、インスティテュートの話もあるし、それから行政の話もあるのだろうけど、そこら辺は1つの大きな国としての意図というところは課題かな、と思いますけど。それでは吉川先生、よろしくお願いします。

**吉川氏（基調講演者）** では、ちょっとご意見を申し上げます。素晴らしい会であったと私は考えております。何が素晴らしかったかというと、やはり今、有本さんが言ったように、我が国ではエネルギーシステムをやっている人、インフラのシステムをやっている人、ソフトのシステムをやっている人がお話になりましたし、さらに最近の企業においては、システム指向は雪崩を打っていったという訳です。商品を作るにはシステムがなければ、システム概念がなければできないというところまで来た。皆、システムなんですね。しかし、これを木村先生から見ると「皆、同じシステムじゃないか」と思うのですが、実際にシステムをやっている人は「木村さんが何を考えているか分からない」と、こういうギャップがあるのです。これは一体何なのか。

そういう観点から言うと、今日は、実は、お招きしたお二人の海外からの講演者の先生



方に非常に多くのことを学んだような気がします。ごく簡単に言うと、Khargonekar さんのお話では、ページ 32 にありますが、この 3 層の絵が描いてあります。システム (system)、イネーブリング・テクノロジー (enabling technology)、ファンダメンタル・リサーチ (fundamental research) と、この 3 つの階層があると。3 つの階層が 1 つの枠の中に入っている訳です。ということは、1 つの存在物というのが、それはシステムでもあり、イネーブリング・テクノロジーでもあり、またファンダメンタル・リサーチでもあるということで、行為はそれぞれ違いますが、存在物は同じだ。実は、木村先生とヘーゲルが言っている「現実システムだ」ということに関係する訳で、システムでないものは現実ではないという関係ですよ。そういったことがアメリカの NSF のやり方では非常に総合的にあらゆる学問を包含して、システムで括っているという方針が非常にはっきりしていて、これは国の意思であると同時に、非常に深い学問的な洞察であると思っています。

それから Guo 先生のお話は、これまた伝統的に中国の科学アカデミーがシステムということを非常に重要視して、しかもそのシステムというのは、システム科学なのか、あるいは現実のシステムなのかということが、実は非常に重なって進行しているのだという話を伺ったわけです。現実には、穀物の予測をするのはシステム科学の成果なのということ、そういういくつも現実国民にとって極めて重要なことが、システムということを通じて明らかになると同時に、一方で、システムトロジーという非常に基礎的な学問として、システム科学というものを作っていかうという動きもある。こういった総合的な動きというのは、本当に必要なのです。システム科学があって、現実の問題があるというような考え



方ではないのです。

こういうシステムに、政策に携わる者も、あるいは研究する者も、自分の役割というのがあるのだと。大きなシステムからシステム、イネーブリング・テクノロジー、ファンダメンタル・リサーチという中で、自分はどこにいるのかということです。一人でやっているのではないのです。現実の世界に入ってくるということであれば、その3つの仕組みの中のどこにいるのか、どこで役割を果たすのかというのが、研究であり、事業であるということであろうかと思います。

そういった意味で、具体的な話になってくるのですが、これは藤野さんのお話にありましたように、翻訳者という非常に控えめな言葉で表現されました。これはどんな人の言葉でも聞ける寛大な人ということで、この寛大さというのは実は大事なことで、非常に藤野先生というのは優しい人なのだけど、心の中にはごついシステムセオリーを持っておられるのです。ですから、こういう方が SIP の主

になったということは、私は心から喜ぶと同時に、成功間違いなし、とこう思っております。いずれにしても今日はシステムというのは当たり前だと考えている人と、システムとは何か、自分のやっていることはシステムなのだけど、システムっていうのは別に存在する訳はないと、おそらく2種類の人がいたと思うのですが、その人たちが一堂に集まって公にされて議論ができたということが、大変大きな成果だったのではないかと思います。私もいろいろ学ばせていただいたというのが、私の感想です。

**有本** 私のクロージングとしましては、今日は非常に長時間、吉川センター長が言いました通りで、非常に有益な、しかし次のステップに移らないといけないから、これをイベントで終わるわけにはいかないということで、様々なセクターの方がおられると思いますが、ぜひ引き続きコミュニティを作った上でやりたいと思っております。今日はどうもありがとうございました。

以上



付録 2

システム科学技術の歩み

	システム科学技術の発展と関連する世界の動向		世界におけるシステムの研究拠点、研究グループの設立	日本における「システム」教育拠点の設立（主に国公立大学の動向、*は私立大学）		JST/CRDS システム科学ユニットの主な活動		
				学部	大学院			
19世紀 以前	1770s ワットの调速器(制御)	蒸気機関（制御工学の始まり） 鉄道網						
	1817 フォン・ボーンベルガーのジャイロスコープ							
	1867 マクスウェルの制御系の安定性の理論解析 1880s エジソンの送配電システム 1880s 自動交換電話網	電球の普及（システム思考の成果の典型例） 公衆電話の普及						
20世紀	1900s フォード生産方式(大量生産の仕組み) 1911 テイラーの科学的管理法 1931 ブッシュの微分解析機 1932 ブリュンによる回路理論の数学化 1932 ヘイゼンのサーボ機構の理論(制御) 1936 チューリングのチューリングマシン(機械計算のモデル)	1908 T型フォード発売  航空機の実用化（制御技術の発展の成果）						
	1939 オペレーションズ・リサーチ(OR)の誕生  1941 自動追尾射撃制御レーダー SCR-584（制御理論・予測理論の成果によって米軍の対空砲の精度が飛躍的に向上） 1944 ノイマンのゲーム理論 1945 ボードのフィードバック理論(制御) 1945 ベルタランフィの一般システム理論  1946 最初の汎用デジタル計算機ENIAC  1948 ウィーナーのサイバネティクス 1949 最初のプログラム内蔵式計算機EDSAC 1956 ダートマス会議(人工知能、機械による問題解決・パターン認識の提唱) 1956 フォレストアーのアーバンダイナミクス・システムダイナミクス(シミュレーション手法) 1957 PERT/CPM（プロジェクト管理手法）	第二次世界大戦（軍事・ロジスティクスのためのOR、最適化理論の勃興。制御技術、制御理論の発展）     オートメーション工場	1940【英国】陸軍Bracket Circus(軍事作戦に科学的思考を導入)          1946【米国】ランド研究所発足（ORからシステム分析への発展）    1955/56【米国】Society for General Systems Research (SGSR) → 1988 ISSSIに	1959 京都大学工学部 数理工学教室→情報学科 数理工学コース(1995)  1962 東京大学工学部 計数工学科				
	1960 カルマンの現代制御理論(モデリングの提唱) 1960s システムエンジニアリング 1960s 水野・赤尾による品質機能展開(QFD)  1960s タグチメソッド(品質工学) 1964 IBM OS/360 (世界初の商用OS) 1969 ARPANET構築（インターネットの起源） 1970s カストロフ理論 1976 公開鍵暗号方式 1977 RSA暗号 1970s チェックランドによるソフトシステムズ方法論(SSM) 1980s カオス理論 1980s Critical Systems Heuristics (CSH) 1980s Critical Systems Thinking (CST)  1990 World Wide Web (WWW) 技術  1990s 複雑適応システム、エージェントベースモデリング 1990s 高度道路交通システム(ITS)技術（1994 第1回世界ITS会議）	1960 自動予約システム(IBMがアメリカン航空向けに航空券自動予約システムSABREを開発) 1960s アポロ計画（システムエンジニアリングの発展） 1960s 工業プロセスにデジタル制御を導入(化学プラント、鉄鋼の圧延など。プロセス制御理論の実装)	1972【欧州】国際応用システム分析研究所(IIASA)（東西システム科学の連携） 1972【ドイツ】フラウンフォーファー協会システム・イノベーション研究所 1979【中国】中国科学院システム科学研究所	1972【米国】サンタフェ研究所 1988【米国発】International Society for the Systems Sciences (ISSS) 1990【米国発】International Council on Systems Engineering(INCOSE)	1991 *芝浦工業大学 システム工学部(現システム理工学部、私立大学で初の「システム」の学部) 1993 東京工業大学工学部 機械知能システム工学科/制御システム工学科/経営システム工学科 1993 名古屋大学情報文化学部 社会システム情報学科 1995 和歌山大学システム工学部 1996 *慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 1997 大阪大学基礎工学部 システム科学科	1975 東京工業大学大学院総合理工学研究科 システム科学専攻→知能システム科学専攻(1996)    1987 京都大学大学院工学研究科応用システム科学専攻→(1998改組、工学部から廃止)   1996 東京工業大学大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻  1998 京都大学大学院情報学研究科 システム科学専攻 / 複雑系科学専攻		
	21世紀	2001 地球温暖化問題（IPCC第3次評価報告書）			2000 東京大学工学部システム創成学科			
2003 サービス科学  2000s グリッドコンピューティング、クラウドコンピューティング 2000s スマートグリッド技術 2000s Internet of Things  2000s システム生物学		2000s ソーシャルネットワークサービス(SNS)の普及（2003 MySpace 設立、2004 Mixi、Facebook 設立）   2008 世界金融危機（金融工学、グローバルネットワークにおけるリスクマネジメントの重要性の認識）   2011 東日本大震災(レジリエンスを考慮したシステム構築、リスクマネジメント強化の必要性を認識) 2010s 国内社会インフラの老朽化問題の表出(運用・更新を含めた全体管理システム構築の必要性を認識)	2005 IEEE Systems Council  2007 IEEE Systems Journal 創設  2008 Council of Engineering Systems Universities (CESUN)	2002 秋田県立大学 システム科学技術学部   2005 北海道大学工学部 機械知能工学科/環境社会工学科/情報エレクトロニクス学科 2007 東北大学工学部 情報知能システム総合学科      2012 大阪府立大学 現代システム科学域	2003 大阪大学大学院基礎工学研究科 システム創成専攻   2005 北海道大学大学院工学研究科 人間機械システムデザイン専攻 →大学院工学院 人間システムデザイン専攻(2010)  2008 *慶應義塾大学大学院 システム・デザイン・マネジメント研究科（文理共通のシステム思考の教育・実践） 2008 東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専			
		2013～ Future Earth					2009.9 JST/CRDS システム科学ユニット発足 2010.7 中間報告書「システム科学技術の役割と日本の課題」 2011.3 戦略提言「システム構築による重要課題の解決に向けて」発行 2012.3 戦略プロポーザル「統合サービスシステムとしての都市インフラ構築のための基盤研究」発行 2012.3 科学技術シンポジウム「システム構築による重要課題の解決に向け」 2013.3 戦略プロポーザル「将来水問題の解決に向けた統合モデリングシステムの研究」発行 2013.4 CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」発足 2014.2 戦略プロポーザル「共通利用可能な分野横断型リスク知識プラットフォームと運用体制」発行 2014.2 科学技術シンポジウム「イノベーションを牽引するシステム科学技術」	

■ 報告書作成担当 ■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
シン ジャワ	フェロー	(システム科学ユニット)
鈴木 久敏	フェロー	(システム科学ユニット)
富川 弓子	フェロー	(システム科学ユニット)

CRDS- FY2014-SY-01

科学技術国際シンポジウム報告書

イノベーションを牽引するシステム科学技術  
～日米中の動向に学ぶ～

平成 26 年 3 月 March 2014

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター システム科学ユニット  
System Science Unit,  
Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地 K's 五番町

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

@2014 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission. Application should be sent to [crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

ISBN 978-4-88890-394-3





