

CRDS-FY2010-XR-05

## JST-CRDS／NISTEP共催講演会 記録

### システム科学の展望

木村英紀 JST-CRDS 上席フェロー

### システム科学の必要性 — 産業界の視点から

桑原 洋 日立製作所 特別顧問

2010年4月8日開催



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

## 目次

1. 講演会プログラム . . . . . 1
2. 開催挨拶 . . . . . 3
3. 木村上席フェロー講演記録 . . . . . 5
4. 桑原特別顧問 ご講演記録 . . . . . 29

## 1. 講演会プログラム

### ○講演会趣旨：

システム科学の弱さが日本の産業競争力の弱さにつながったのではないか—この仮説の下にシステム科学の必要性と課題を明確化し、日本の産業界の課題解決に向けた糸口を探る。

○日時：2010年4月8日（木）16:00～17:30（受付開始 15:30 より）

○場所：科学技術政策研究所会議室（霞ヶ関ビル 30階 3026会議室）

### ○プログラム：

16:00～16:05

開会挨拶 有本建男 JST-CRDS 副センター長

16:05～16:35

「システム科学の展望」

木村 英紀（きむら ひでのり）JST-CRDS 上席フェロー

16:35～17:15

「システム科学の必要性—産業界の視点から」

桑原 洋（くわはら ひろし）株式会社 日立製作所 特別顧問

17:15～17:30

質疑応答

### ○講師略歴（講演順）：

木村 英紀（きむら ひでのり）氏

理化学研究所 BSI—トヨタ連携センター長。科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー。1965年東京大学工学部計数工学科卒業。70年、同大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。大阪大学基礎工学部助手、講師、助教授、教授を経て、95年～99年、東京大学大学院工学系研究科教授。99年より同大学院新領域創成科学研究科・複雑理工学専攻・教授。2001年より理化学研究所・生物制御システム研究室チームリーダー。

桑原 洋（くわはら ひろし）氏

株式会社 日立製作所 特別顧問

1960年東京大学工学部電気工学科卒業、日立製作所入社。大みか工場長、専務取締役電機システム事業本部長などを経て95年に代表取締役副社長、99年に同副会長を歴任。副会長を退任後、日立マクセル、日立電線、日立国際電気の会長などを務め、2006年日立製作所特別顧問。07年日立マクセル相談役。09年日立マクセ

ル名誉相談役。2001年内閣府総合科学技術会議議員。

## 2. 開催挨拶

科学技術振興機構の研究開発戦略センターの副センター長をやっております、有本でございます。本日は科学技術政策研究所にお願いして、ジョイントで講演会を開催させていただくという運びにした次第です。

システム科学という課題ですが、少し背景を申し上げておきますと、昨年4月に研究開発戦略センターに吉川弘之先生にご着任いただきまして、それ以来、吉川先生の発想で、研究開発戦略センターの従来ユニット構成は、第3期と同じような形で4分野を主体として、IT、ナノテク、環境、バイオという構成にしておりましたが、これだけでいいのか、こういうものをインテグレーションするようなものも研究開発戦略センターで取り組まないといけないということで、昨年10月に、きょう最初にご講演いただきます木村先生にこのシステム科学のユニット長になっていただきまして、以来、木村先生には非常にインテンシブに、今、研究会を、科学の立場から、また産業界の立場から、何回かワークショップ形式で開いていただいております。

2番目にご講演いただきます日立の桑原先生には、ワークショップにも非常に積極的にご参加いただいております。もともと桑原先生は、ご存じのように日立でのご活躍のみならず、経団連、COCN（産業競争力懇談会）、また総合科学技術会議の常勤としても、最初のところで非常にご苦労いただいたわけですから。そういう意味でこのシステムという課題については、それこそ、今、新政府の新成長戦略でもシステム、あるいは課題解決について、たしか閣議決定した新成長戦略では、システムを輸出するとまで書いてあったと思いますが、では、どうやってできるかということについてはまだ中身が十分詰まっていません。そして、第4期科学技術基本計画でも、この問題が非常にホット 이슈になりそうだということです。

きょうのお二人のご講演では、多分私の推測、期待では、短期的な問題もありますが、中長期的な課題について、もともとの日本の教育の問題から大学での教育、人の評価、あるいはファンディングのやり方というところまで、必ずや一貫通で連通するものだと思います。

もう少し私流に言いますと、どう見ても今の日本のやり方は、要素技術ではまっぴらありますが、国境を越えるところのようなものは三八銃になっている。三八銃と戦車ぐらいで戦っているような状況に今なりつつあるのではないかというぐらいの気がいたします。それは科学技術のみならず、産業も含めてです。

中長期的にはそれぐらいの射程がありますが、短期も含めて、きょうこういう形で講演会を開催したということは、議事録として残しますし、また、いろいろなところでこ

こでの議論をインパクトのあるようなものとして発展させていきたいという意図もあるわけです。

そういう意味で、少し長くなりましたが、きょうはお二人の先生方のご講演、それから意見交換も、ぜひ積極的にお願いしたいと思っています。きょうはお越しいただきまして、ありがとうございます。よろしくお願ひします。

## 3. 木村上席フェロー講演記録

# システム科学の展望

木村 英紀  
JST-CRDS, 理研

2010/4/8  
NISTEP

木村でございます。

先ほどご紹介いただきましたように、昨年10月以来、CRDS のシステム科学ユニットのお世話をせよということで、吉川センター長から誘われまして、半年近く活動してまいりました。

きょうはその活動を通じまして、私自身がシステム科学というのをどのように考えるか、あるいは、今後、現状の科学技術におけるシステム科学の位置づけ、さらに、今後どうすればいいのかということまで、できましたらお話ししたいと思っています。時間が短いのでどこまでお話しできるかわかりませんが。

それと、わかりにくい、抽象的であるというご批判を甘んじて受けつつ、やはり抽象的にならざるを得ないということをあらかじめお断りしなければいけないと思います。

## 内容

- システム科学とは
- 第三の科学革命
- システムは現代科学技術のキーコンセプト
- 日本のシステム科学
- 何をなすべきか

システムという言葉は、皆さん、非常に聞き飽きているぐらい聞かれていると思いますが、きょうの話は、まずシステム科学とは何であるか——まさに抽象的なお話になってしまうと思いますが、お話をさせていただきます。続いて、システム科学の源流。なぜ生まれたのか、生まれざるを得なかったのか、いつ生まれたのか、それはどういうものであるのかということ、第3の科学革命——これは私だけが使っている言葉ですが、これを使ってご説明させていただきます。次に、なぜ現代科学技術のキーコンセプトとしてシステムという概念が浮かび上がってきたかについてお話しさせていただきます。それから、日本のシステム科学はどうか、さらに何をなすべきか。

こういう順序でお話ししたいと思っています。

### システム科学はニュートンからはじまった

「プリンキピア」の第3巻のタイトルは

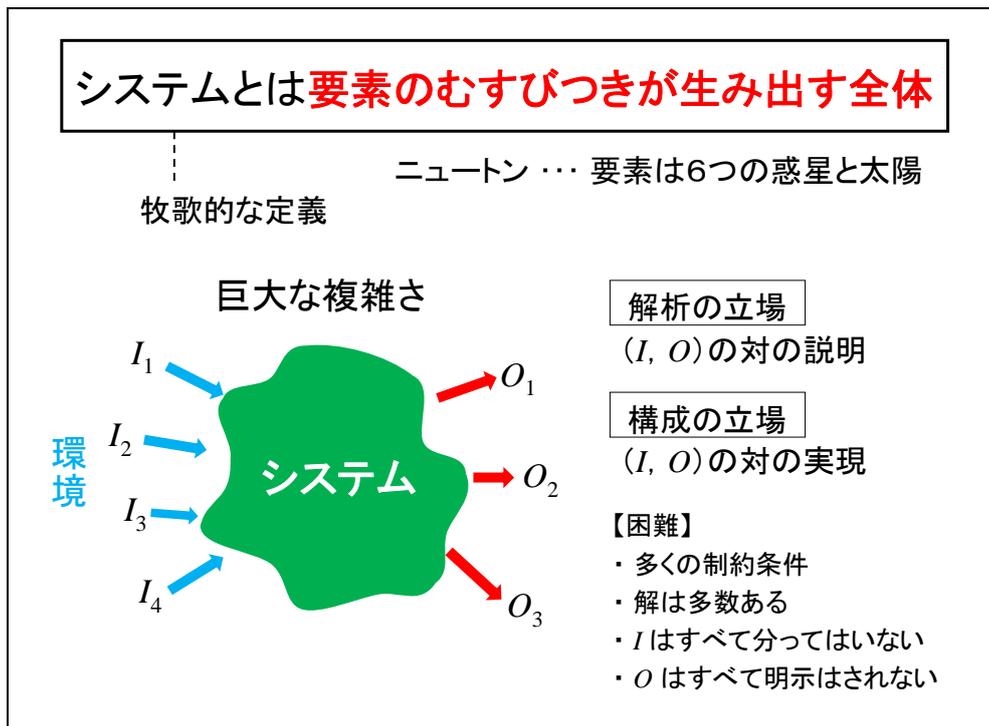
*De Mundi Systemate* (The System of the World)

“such as the density and the resistance of bodies, spaces void of all bodies, and the motion of light and sounds. It remains that, from the same principles, I now demonstrate **the System of the World.**”

Introduction to Volume III (translated by Andrew Notte, 1729)

実はシステム科学はニュートンから始まったなどと言うと、また急に人を驚かすようなことになると思いますが、実はこれは事実でありまして、ニュートンの主著ですが、「プリンキピア」の第3巻です。ブック1、ブック2、ブック3と分かれていまして、一番重要なのはブック3です。ここで万有引力を扱っているわけですが、このタイトルは「*De Mundi Systemate*」とあって、これはラテン語ですが、英訳では「*The System of the World*」となっています。下に書きましたように、これは1729年の英訳本ですが、そこでニュートンは、「*The System of the World*」をこれから皆さんの前にお目にかけてようと、高らかに宣言しているわけです。

システムという言葉は実はこのときから学問の世界に入ってきたのではないかと考えています。システムとは要素の結びつきが生み出す全体であるという感じでニュートンは使っていますが、ニュートンのシステムは、当時はまだ6つしか惑星が発見されていませんでしたが、6つの惑星と太陽からなるシステム、これを使って例示して、実は万有引力というのは地上におけるすべての物質を結びつけている、まさにシステムとしてとらえる必要があるということを使ったわけです。



これはシステムの解析的な立場で、ここに書きましたように、得体の知れない「システム」というものがここにありとします。 $I_1 \cdot I_2$ というインプットが入ってきて、 $O_1 \cdot O_2 \cdot O_3$ というアウトプットが出ていくというもので、環境と相互作用している。これは巨大な複雑さを持っていますが、ニュートンの場合ですと、地上のすべてを含んでいるわけです。こういう巨大な複雑さ、解析の立場というのは、この  $I$  と  $O$  のペアがなぜ生まれるのかということ、このシステムの中身の解析を通して明らかにしていく。

一番難しいのは、そして我々が今システム科学というときに対象としているシステムというのは、システムの解析ではなくシステムを構成する立場です。 $I$ と $O$ の対が与えられたときに、その実現するシステムをつくっていくということで、これは解析に比べるとはるかに困難です。

困難であるというのは、いろいろな理由がありますが、まず制約条件がたくさんある。それから、1つの解ではない。解は幾つもある。それから、 $I$ はすべてわかってはいない。何が起こるか分からない世界にシステムは投げられるわけです。あらかじめある程度はわかっていますが、わかっていない入力があり得る。これが今の大きな問題です。何が起こるか分からない。システムをつくったときに一々全部チェックすることはできないわけです。さらに、 $O$ はすべてわからない。何が欲しいのかということも実は明示されていない。これも時代とともに変わっていく。あるいは、人々の嗜好によっても変わってくるわけです。 $O$ 自体もはっきり定義できないし、 $I$ も定義できない。ましてやこれを実現することは非常に難しい。そういう状況にあるものが、今の我々システム科学が対象としているものであるとお考えいただければと思います。

## システム科学とは何か？ (とりあえずの定義)

**人工物**をシステムの視点から探求し、俯瞰的統合的な手法で課題を解決するための科学

## システム技術とは何か？ (とりあえずの定義)

要素の間の関係を重視し、それを通して全体の機能を認識、設計するための技術

システム科学とは何か。とりあえずこのシステム科学というのは、いろいろな人がいろいろな立場で、既に何十となく定義がありますが、まず我々は人工物というのを考えたい。ニュートンの考えたシステムではないということです。システムではあるけれども、システム科学の対象は自然ではなくて人工物である。それから、俯瞰的統合的な手法で課題を解決するための科学である。これは吉川先生流の表現になっていますが、俯瞰的ということです。巨視的な立場から見ると、1つ1つのシステムの構成要素にこだわることは全くない。構成要素も全体から見ての位置づけを常に考えていくということです。

今度はシステム科学に対してシステム技術というのがある。これもまた非常に難しいのですが、後で幾つか出てきます。これこそが、我々が今の複雑さに対抗する手段として、武器として使えるものです。とりあえずの定義としては、要素の間の関係を重視し、これを通して全体の機能を認識、設計するための技術。このようなことを言ってもほとんど何の役にも立ちませんが、とりあえず何であるかと言われると、こういう形でとらえざるを得ない。

## システム科学の源流

- 「1930年代から40年代にかけて確立された人工物に関する科学(技術が生み出した科学)」が源流である。
  - 具体的には、システム工学、信頼性、最適化、生産設計、制御、ネットワーク、人間機械系、計算、言語と行動、予測と決定など。
- この一群の科学は、自然科学にベースをもつ伝統的な工学と役割を分担しつつ、車の両輪として現代技術を作り上げた。

そこで、システム科学の源流です。こういう科学が、ニュートンは別として、今、我々が対象としている人工物に対するシステム科学がいつ生まれたのかということです。これは1930年代から40年代に確立された人工物に関する科学です。括弧して書きましたが、技術が生み出した科学で、自然が生み出した科学ではありません。基本的には技術が生み出した科学です。それが源流になる。このころ、雨後のタケノコといいますか、陸続としてこういう科学が生まれたわけです。このわずか20年ぐらいの間です。

後で説明しますが、これは大量生産・大量消費が必要とした科学であり、具体的にはシステム工学、信頼性、最適化といったものです。こう書けば少しはファミリアだと思いますが、こういうものの原型がこの時期にでき上がったわけです。これは、その少し前に巨大なイノベーションが発生して——現代技術ですが、それを処理するためのサイエンスがここで生まれたと考えていいと思います。

この一群の科学は、自然科学にベースを持つ伝統的な工学と役割を分担しつつ、車の両輪として現代技術をつくり上げたと私は考えていますし、この「車の両輪」という言葉は何度も強調したいと思います。自然科学だけではない。もう1つの科学が工学のベースにあるということです。もう1つの科学こそが、システム科学と言えるものである。

これがシステム科学の源流、生まれた背景です。

## 大量生産と大量消費の時代の到来・・・20Cはじめ 特にアメリカ

### 技術の社会への浸透はさまざまな新しい課題を生み出した。

#### 例:ネットワーク

蒸気機関車の商用運転  
 事故の続出 (19C前半)  
 電信の普及によって一応解決  
 配電網の広域化  
 予期しない負荷の変動により停電、周波数変動が発生  
 当時の電気工学最大の課題 (1930年代)  
 ベネバー・ブッシュの微分解析機

#### 例:制御

巨大船の変針  
 化学工業の発展による物質の極限状態の保持  
 工作機械の精度保障

#### 例:設備投資の巨大化

市場調査の必要性  
 品質管理

次に、第3の科学革命です。20世紀の初めぐらいに大量生産と大量消費という時代が到来します。これは特にアメリカで起こったわけです。ヨーロッパでも起こった。技術の社会への浸透がさまざまな新しい課題を生み出した。

例えば、ネットワーク。蒸気機関の商用運転。これは事故が続出します。電信の普及によって一応解決しますが、ネットワークの初めてのシリアスな例と考えていただければと思います。

配電網の広域化。電気のユーザーは電気を勝手なときに使います。発電所に許可を得ないで使う。そうすると、負荷が変動して、発電所に大きな外乱が入ってきます。そうすると周波数が変動したり、電圧が下がったりする。これは大問題だったわけで、これを解析するために計算機が生まれた。これはアナログ計算機で、バネバー・ブッシュという人が微分解析機をつくった。これは当時のハイテク中のハイテクだったわけですが、ネットワークの問題を解決するためにこういうサイエンスが生まれたと考えていいと思います。

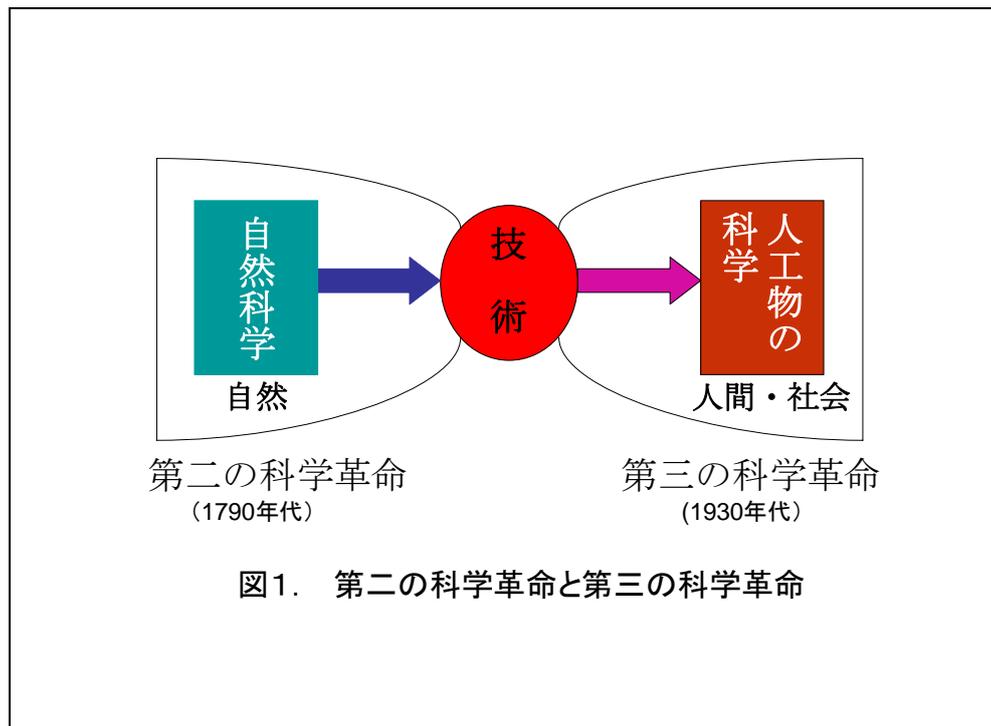
さらに、制御です。これは言うまでもないと思いますが、巨大船の変針、化学工業の発展による物質の極限状態の保持、工作機械の精度保障。

さらに、設備投資が巨大化するにつれて、今度はマーケティングが必要になってくるわけです。これに対してさまざまな悲劇が当時起こっています。マーケティングをやらなかったために、あっという間にコンシューマーに飽きられてしまって、全く売れなくなったというようなことが突如起こったりしています。こういうことから、市場の動向を生産にフィードバックするという基本的な概念が生まれてきまして、また品質管理も生まれてきた。

表1. 第三の科学革命の主要な成果

1931	<b>ブッシュの微分解析器</b>
1931	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
1935	ベルタランフィーの一般システム理論
1936	<b>チューリングの機械計算の一般モデル</b>
1940	オペレーションズ・リサーチの開始
1944	ノイマンのゲーム理論
1945	ボードのフィードバックの理論
1946	最初の汎用デジタル計算機 ENIAC
1948	<b>ウィーナーのサイバネティクス</b>
1948	<b>シャノンの通信理論</b>
1949	最初のプログラム内蔵式計算機 EDVAC

こういうさまざまな新しい、自然科学には帰着できないサイエンスがこのころ生まれたと私は今考えていますが、このサイエンティフィックな成果をここに挙げました。1930代の初めから40年代の終わりにかけてぐらい、第2次大戦を挟んでいるわけですが、このようにたくさんの、自然科学には帰着できない新しい技術の科学が生まれた。これは歴史的な事実です。これ以外にもたくさんあります。これを称して第3の科学革命と言っているわけです。



これをまとめますと、第2の科学革命というのは、自然科学と技術が生まれたことによって巨大な力を獲得したわけです。特に化学工業などで新しい物質が生まれた。ここは議論の余地がありません。次のこちらは、技術が社会に浸透するにつれて新しく起こった人間と社会の接点における問題を解決するために、こういう科学が必要になってきたということで、これをもって第3の科学革命と呼んでいるわけです。

## 自然科学でも人文社会科学でもない 新しい科学

いろいろな呼び方がある。  
サイバネティックス、システム科学  
人工物の科学、情報科学、横断型基幹科学技術

この科学は何を解こうとしているのか？

**人工物システムの論理の解明**

これは自然科学でも人文科学でもない、新しい科学です。いろいろな呼び方があります。サイバネティックスと呼ぶ場合もあります。それぞれ呼び名によって少しずつ範囲が違ってきます。人工物の科学。情報科学というのはまた非常に狭いですが。横断型基幹科学技術という呼び方もしています。

この科学は何を解こうとしているのか。人工物システムの論理の解明であると言っていいと思います。自然科学はこの人工物のかわりに自然になるわけですが。これは、科学技術が社会に浸透するにつれてどうしても必要と科学であるということです。

## なぜ人工物システムの論理解明が課題になるのか？

産業競争力の視点から

- ・機械をはじめとする生産手段と経営を含む分配手段のシステム化(広域化、大規模化)
- ・生産と消費のギャップの拡大(景気変動、環境汚染)
- ・消費製品のシステム化(高機能化、複雑化)

戦後65年の科学技術の進歩は、複雑化・高機能化・大規模化に対抗する**システム化**の歴史であった。  
前半は生産手段、後半は消費製品がその主な対象となった。

それで、なぜこれが課題になるのかということについては、これは言うまでもないことではありますが、生産手段と経営を含む分配手段のシステム化（広域化、大規模化）によってシステムが必要になってきた。また、生産と消費のギャップ。これは景気変動を生み出したり、環境汚染など、さまざまな問題が起こる。そのたびにシステムというのが問題になってきた。さらに、消費製品のシステム化です。高機能化については、後でまた触れます。

それで、戦後65年の科学技術の進歩は複雑化・高機能化・大規模化に対抗するシステム化の歴史であった。少し偏見を交えてあえて単純化しますと、戦後65年、特に最近30年ぐらいは、技術の進歩はシステム化の歴史であったと見ていいと思います。そのシステム化というのは、前半は生産手段、後半は消費製品がその主な対象となった。

## 技術を担う2種類の知

	第1の知	第2の知
源泉	自然科学	人工物の科学
秩序原理	自然	論理
対象	モノ	コト
手法	要素還元	システム統合
着目点	素子	関係
在り様	生産	使用
用途	解析	構成



したがって、技術を担う知を2種類に分けたいと考えます。ここの第1の知というのは、基本的には自然科学から発生するものです。さまざまな、機械工学、電気工学、化学工学といったものをももちろん含んでいます。第2の知というのは、人工物の科学です。これは制御で、先ほど申し上げた1930年代から40年代にかけて生まれた科学です。この2つの知は非常に対照的です。ここでそれぞれの対照を考えると、特にこの素子と関係で、システム科学は関係を重視するということでした。この2つの知が、車の両輪となって技術を支えているということだろうと思っています。

## 何故システムは複雑になるのか？

- ◎ ユーザーの要求の多様化と高度化  
(コンシューマの要求には歯止めなし)
- ◎ 汎用CPUが廉価になった  
(数億個のトランジスターが数万円)
- ◎ ソフトの可能性を実現するハードの性能向上  
(例: 自動車のDrive by Wire)

複雑化は技術の発展の必然的な流れ

そこで、なぜこのシステムが現代科学技術のキーコンセプトになってきたのかということですが、

1つは、システムが複雑になってきているわけです。これはいろいろな理由があります。詳しく1つずつ申し上げませんが、時間がないので簡単にしますが、要するに、ユーザーの要求につき合っているうちに自然に複雑になるわけです。もう1つは、計算が非常に安くなった。ですから、幾らでもコンピューターを使えるわけです。汎用 CPU が廉価になった。さらに、ソフトの可能性を実現するハードの性能の向上。つまり、例えば、自動車は今「Drive by Wire」と言われていて、運転者の機能は、車を運転している場合には、恐らく5分の1程度しか関与していない。できないようになっています。複雑化された自動車は、電子的な制御で、計算機がやる。

## 複雑さは何故困るか？

- ◎ 入力の組み合わせの数が膨大になる  
すべての場合を尽した検証は不可能
- ◎ 部分的な手直しが他の部分に影響を与え、エンドレスな循環調整に陥る
- ◎ 新しい機能の追加は怖くてできなくなる
- ◎ 部分最適化と全体最適化のギャップ拡大  
「格差」の拡大と「これでよいのか」の声

複雑化は技術の発展の必然的な流れであり、これが困るわけです。入力の組み合わせの数が膨大になる。先ほど申し上げましたように、すべての場合を尽くした検証は不可能になってくるわけです。部分的な手直しが他の部分に影響を与え、エンドレスな循環調整に陥る。抽象的で大変申しわけないですが、これは現実には起こっていることです。それから、新しい機能を付加したいけれども、怖くてできない。ほかにどのような影響が起こるか、わからない。これも現実には起こっているわけです。それから、部分最適化と全体最適化のギャップの拡大。これも、皆さん方、聞かれていると思います。

例:自動車

自動車は人間が運転する？

**自動車は制御で走る**

ECU(計算機)が30台以上  
車内はLANが張られている  
ソフトウェアは1000万行(書き出したら6メートルの高さ)

**複雑さの塊り**



例を自動車にとりますと、自動車は人間が運転するわけですが、本当に運転しているのかというと、5分の1程度だと申し上げましたが、制御で走っているわけです。さらにその傾向は強まっている。深まっている。それで、ECU、電子的な制御素子——計算機とってよくて、ECUは計算機の業界用語ですが、これが30台ぐらい入っています。もっと入っているかもしれない。車内にはLANが張りめぐらされていて、1つの社会になっているわけです。それから、ソフトウェアが1000万行になる。これは1つの製鉄工場のソフトウェアと同じぐらいになっています。こういう複雑さの固まりになっているということです。これはまさにシステム、巨大なるシステムです。

製品の複雑化、大規模化、高機能化に対してシステム科学技術は次のような成果で対抗してきた。

システム化、自動化、モジュール化、モデル化、標準化、ネットワーキング、可視化、仮想化、IT化、システム統合 etc.

しかし複雑さの増大はシステム科学技術の進歩を超える勢いで進みつつある。(例) ソフトウェアの大爆発、トヨタの躓き

これに対抗して、システム科学はさまざまな武器をつくり出し、手にしてきたわけです。システム化というのは、これ全体を総称していて、自動化、モジュール化、モデル化、標準化、ネットワーキング、可視化、仮想化、IT化、システム統合、いろいろなものがあります。しかしながら、複雑さの増大はシステム科学技術の進歩を超える勢いで進みつつある。ソフトウェアの大爆発や、トヨタの今回の問題等も、こういう問題の一環としてとらえると非常にわかりやすいのではないかと思います。

**1990年代初頭に生産技術のIT化が一挙に進展  
「巨大システム」が明白なターゲットとなった**

例: ボーイング777の設計製造の完全仮想化

**日本では同じ時期に「ものづくり」が標語となった。  
要素技術、素材産業への傾斜が顕著**

例: ソフトウェア技術基盤の喪失

**このギャップはますます広がっているのではないか？**

エビデンスを集積中

日本のシステム科学はどうだったでしょうか。

まず、1990年代の初頭に1つの大きな分水嶺があったと考えられます。このころ、生産技術のIT化が一挙に進展して、巨大システムが明白なターゲットになりました。例えば、このころボーイング777というジャンボ機で、初めて完全な仮想的な設計製造を行った。つまり、モックアップという木型を1つもつくらなかつた。さらに、試作機も1機もなかつたわけです。第1機から売れたわけです。普通は、最初の何機かは負荷をぶら下げて何日間も置くといった耐久試験、耐重量試験や、あるいは過酷な飛行試験などに使うので売り物になりませんが、これはそういう形で完全に仮想化された。つくるプロセスまでが仮想化された。これは非常に大きな突破口を切り開きまして、以後、生産過程におけるIT化が1つの象徴になってきます。ほかにもたくさん例があります。

一方、日本では同じ時期に「ものづくり」というのが標語になった。これは、皆さん方、ご存じです。むしろ逆に、要素技術、素材産業への傾斜が顕著になった。ちょうど逆を行ったのではないか。こういうシステム化の方向に明らかにおくれをとった。

これまでのシステム化は閉じたシステム化だったわけです。ある限定のもとで、例えば、新幹線など、後で桑原先生からもお話があると思いますが、限定した中でのシステム化です。ですが、これ以後、何が起るかかわからないものを含んだ、開かれたシステム化が大きく進み始めたと考えています。我が国は閉ざされたシステム化はそれなりにやってきましたが、開かれたシステム化への方向性を強く打ち出すことができなかつた。

この傾向はますます広がっているのではないか。そのエビデンスをこれから求めていかなくてはいけないと思っています。

技術の新しい主戦場のひとつになった「複雑さとの戦い」で日本の戦力は？

**弱い！**

- ・ **労働集約型技術が日本の技術のDNA**  
「密教」としての<匠の技信仰>が「顕教」としての先端技術推進の足を引っ張る。普遍性への感度がきわめて低い
- ・ **「たて社会」が全体性への考慮を阻む傾向**  
たて型は社会だけでなく、研究者コミュニティでも極めて強い業績評価、内向きの情緒的交流、実感伝承重視の教育 etc.
- ・ **数学の急速な弱体化と数理思考への拒否感の増大**
- ・ **ソフトウェアの技術基盤がほとんどない。**
- ・ **科学技術政策のシステム科学への関心がほとんどない。**  
「ハコもの」行政の影響？（システム科学は巨大な実験は不要）  
目に見えないものには投資しない？

日本はシステム化が弱いのです。時間の関係上。細かい点は省略いたしますが、ここ挙げられているような点がいろいろな形で、私だけではなく、既にいろいろな方々から言われています。

## システム科学技術推進委員会の立ち上げ(JST/CRDS)

### 第1回

2月 24日(水) 10時～13時 システム科学の展望

### 第2回

3月 8日(月) 10時～13時 日本におけるソフトウェア産業とシステム科学の問題点

### 第3回

4月 3日(土) 10時～12時 数理科学の発展とシステム科学

### 第4回(予定)

5月 7日(金) 10時～12時半 制御工学とシステム科学

### 第5回(予定)

5月 28日(金) 10時～12時半 日本の産業競争力とシステム科学(仮)

### 公開ワークショップ(予定)

日時:6月21日(月) 13時～17時 場所:CRDS2階大会議室

第6回以降に予定しているテーマ

- ・モデリングの科学はいかにあるべきか
- ・気候モデルの現状と問題点
- ・日本の経済産業モデルの現状
- ・合理的政策決定とその基盤
- ・日本文化とシステム科学

先ほど有本副センター長からもご紹介があったと思いますが、私どものユニットで、システム科学技術推進委員会を立ち上げました。人間の数からいえば、かなり大きな委員会になっています。第1回、第2回、第3回まで行って、第4回、第5回をこういうテーマでやろうとしています。つまり、何をなすべきかをこれからこの委員会で考えたいと思っているわけです。第6回に当たるものとしてワークショップを行いまして、オープンなワークショップで大いに議論をしたいと考えています。

## 今後の委員会のテーマ

- ◎ 日本のソフトウェア産業の問題点
- ◎ 数理科学の現状と振興策
- ◎ 大規模複雑系の制御・・・環境・生物・通信
- ◎ 政策決定の合理的基盤とモデリング
- ◎ 環境モデルの検証とモデリングの科学
- ◎ 材料分野におけるシステムアプローチ
- ◎ 日本の技術文化の源流とシステム科学
- ◎ 日本の製造業におけるシステム思考の欠落
- ◎ 人工社会とマルチエージェントモデル

.....

各回サマリーを作成、6月にopen workshop  
システム科学技術の俯瞰マップを発表

それ以後はこういういろいろなテーマも考えていて、ここで何をなすべきかを考えていきたいと思っています。

### 分科会活動(予定も含む)

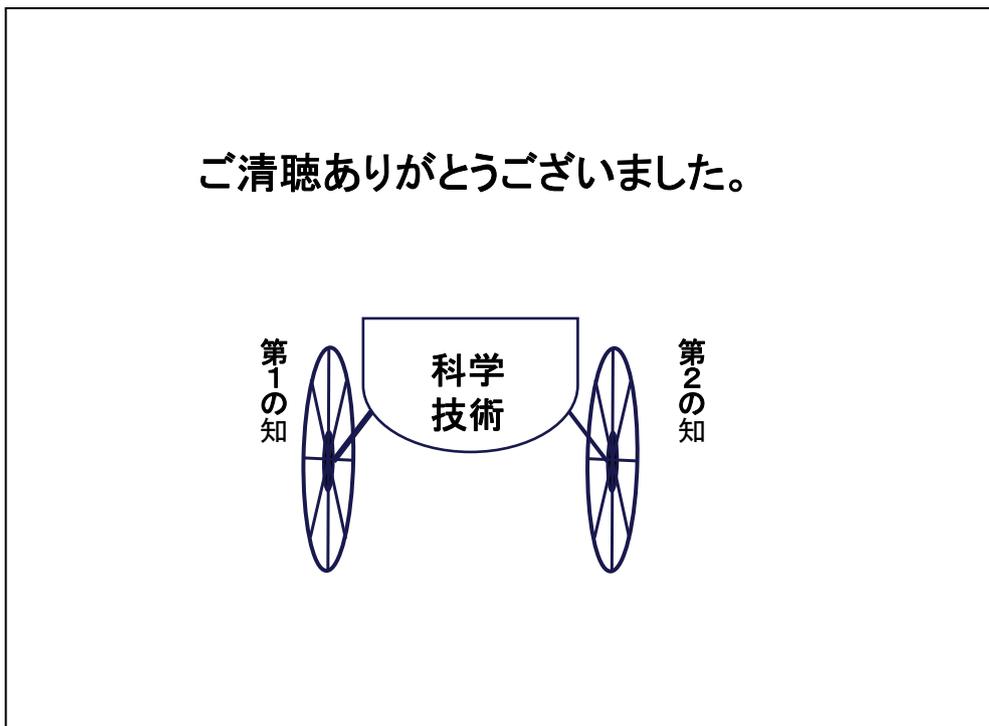
制御	.....	ワークショップ2回開催
モデリング	...	ワークショップ1回開催
数理科学	.....	近く発足予定
知の統合	.....	横幹連合と連携
政策決定の合理性		
産業とシステム科学		

また、分科会活動も実施していて、システム科学がどういう位置づけであるのかということについて、まだ私自身もそういう意味で完全に把握しているわけではありませんので、こういう委員会の活動を通して、委員の皆様方のお知恵を借りながら考えていきたいと思っています。

**システム科学技術の強化は日本の産業競争力を長期ビジョンで回復させるための有力な処方箋**

**システム科学技術は「課題解決型科学技術」(新成長戦略)の中核**

最後に、システム科学技術の強化は、日本の産業競争力を長期ビジョンで回復させるための有力な処方せんになるだろうと考えています。もう1つは、これも有本副センター長からお話がありましたが、我が国の科学技術政策の軸足が課題解決型科学技術に大きく移ろうとしている。そういう中で、システム科学技術は非常に重要であり、そういう軸足の最も基底となる部分を支えるものではないかと考えています。



ということで、もう一度、この2つの種類の知が科学技術を支える車の両輪となっていることを強調して、私の話を終わらせていただきます。ご清聴、どうもありがとうございました。

#### 4. 桑原特別顧問 ご講演記録

## システム技術とは何か

(株)日立製作所 特別顧問  
桑原 洋

今日は無謀にもこういうテーマで講演をお引き受けしました。内容はいろいろと出てきますが、今日申し上げたいことは2つです。1つは、システム科学あるいは技術がこれから非常に重要になってくるということを経験して認識したい。もう1つは、システム技術は実際にどういうものなのかということを経験して考えてみたい。この2つをテーマにしてお話申し上げます。

目新しいところでは、昨年からの原子力発電所商戦において、日本政府が推してくれましたが、アラブ首長国連邦(UAE)でもベトナムでも失注しました。今、原子力発電プラントは、どれもシステムはほとんど同じです。残念ながら、システムの良し悪しで競争する状況にありません。したがって、お金で競争するか、附属品で競争するか。今回は後者で負けてしまったということです。

一方で、皆さんもご承知のように、日本の材料技術は非常に強い。これは今後も続くだろうと私は思います。なぜかというと、日本の材料屋は非常に素直です。ユーザーが要求することに、まずイエスと言う。学術研究されたことの成果をとことん使いながら、要求に必ずこたえていく、その連続が日本の材料技術をして、アメリカに「あそこだけは負けている」という現状をもたらしているわけです。私は、これは心のDNAだと思っています。日本が材料関係で強いように、システムでもどうしても強くなりたいというのが我々の希望です。

## 1. システム技術とはなにか？

- ・ 定義が難しい／出来ていない、内容が分かっているが定義が難しいのか？そうではない、内容の実体が分かっているのが現在

- ・ このままでは、先に進めない、進化できない

漠然と何かある感触はある、技術の統合術か？各種の技術を使っての目的の構築か？これらを横串的に捉える技術があつていいとは思いますがそれが何かも明確でない

システム技術とはなにかということはこのスライドに書きましたが、要は何を言っているかということ、わからない。私も随分システムをやってきました。学術的あるいは論理的に分析するほどの力は全くない。ですが、中ほどに書いてありますように、このままでは進化できないのではないか。だから、何かありたい、あるのではないかということをお客様とともに考え、解を求めていきたいというのが全体的な考え方です。

## 2. システムエンジニアリングの実例・・・実体を見て考えるのが近道であろう

産業界から見ますと、今は学の方とシステムの議論ができない。よくわかっていただいているということを強く感じています。実体を見ながら、お互いに考えるのがいいのではないかとということで、今日は幾つか例を持ってまいりました。

## 1) コンバインドサイクル(蒸気タービンとガスタービンの複合体)

- \* 蒸気タービンシステムの効率限界
- \* ガスタービンの進化
- \* 複合化により高い熱効率の達成
- \* 日本から生まれず
- \* 熱設計力はあったはずだが、発想に至らず
- \* 原因は意欲の欠如

1つめが、コンバインドサイクルです。上にあるのがガスタービン、左側にあるのがコンプレッサー、右側にある羽根がいわゆる燃焼室の羽根です。高温の排気ガスが出てきますので、それをボイラーに入れて、その熱も加えて水を温めて、蒸気タービンを回す。この2つを1つのシステムにまとめたものをコンバインドサイクルといいます。

今までの蒸気タービンでは熱効率が40%を超えるのが大変でした。測定を工夫しながら何とかいい数値が出ないかということすらやった状況の中で、このコンバインドサイクルを使えば55%を超える熱効率が出てくる。初期投資は若干高いものの、燃料代を含めて考えれば、電力会社等々の投資効率はよほど高いということで、今はもう主流になっているわけです。

コンバインドサイクルができ上がった当時、当然日本にも蒸気タービン技術もガスタービン技術もあった。ですが、このシステムが生まれたのはアメリカです。残念ながら日本では生まれず、承諾を受ける Licensee 側でした。一番下から2行目にありますが、産も学も発想に至っていない。熱力学等々は十分ありました。

原因は何かというと、何とかこの熱効率を上げようという意欲の欠如ではないか。システムには、先ほど木村先生が言われたように、解がいっぱいあるわけです。何とかベストな解を求めようという意欲がない限り、システムは成り立たないという1つのいい例です。

## 2) 量販事業

- \* 在庫縮減(商品価値減、腐る、資金効率向上)
- \* 最終顧客納入の即時化(顧客の要望、工事があるものは工事を含めて)
- \* 最適物流システムの構築(IT高度化による管理コスト縮減、物流コスト最適化)
- \* 最適化アルゴリズムの開発/運用(倉庫の最適箇所/規模設定、需要予測の高精度化、発注/納入の高速化、入荷納期の即日化)
- \* やれるか、ペイするか？

次にご説明するのは、量販事業のシステムです。実は、日立がイオンの全システムを納めました。ユーザーがここで発注をして、流れていって、量販会社が製造者に発注をして、それがずっと流れてここの最終ユーザーに届くルートに来る。その間いろいろな連携が行われるというシステムです。

このようなシステムエンジニアリングは、例えば、日立の人間にぱっと解ける人間はいないわけです。まずやるのは、現地に行って、あるいはお客様の話を聞くことも含めて、克明に自分で理解すること。お客様自身は自分のシステムですから、うまくいっているという思いのもとにシステムを理解していますが、日立のエンジニアが行くと、何かおかしいことがあるのではないかと考えて理解する。その差はシステムエンジニアリングの中では非常に貴重です。全体をよく理解するということが必要なので、例えば、全国でどこに倉庫拠点をどのぐらいの規模で置くのが一番経済的にいいかなども含めて、いろいろなテーマ全体を理解する。その次に行うのは、在庫の課題。在庫というのは腐ります。腐るという意味は、本当に腐るのではなく、持っていると値段が下がってくるという意味が主です。在庫の縮減、あるいは納入の即時化などの課題に対して、これくらいのお金をかけたならこういう成果が出る、どれを選んで今回やるか、お客様との相談で決めていきます。

今ご説明したようなことをやり、このケースでは、特殊なアルゴリズムをつくりました。特に、全国配送するときの在庫の縮小、あるいは輸送の迅速化などをやって、どこに倉庫をどの規模で置いたらいいかということもこのアルゴリズムに入れて、解を求めて実施しました。大変すばらしい成果が出て、今運用されています。

この例で何を申し上げたかったかという、まず勉強する。何の問題を解決したいのか。そのベストな解を見つける。こういう活動であるということです。

### 3) JR東の近郊線運転管理

- \* 自動化レベルの拡大(省人化、制御の正確化、人による誤操作防止、ダイヤ変更/事故時/天候異常時など特殊対応の迅速化)
- \* システム進化への正確、迅速、単純な対応を狙う(ソフト構造の革新⇒自律分散技術の採用⇒オンライン変更の容易化、ソフト変更時にも既存論理構造を維持)
- \* ハードの価格低減、長い運用期間での順次高度化の確保(超高信頼ネットとPCの大幅活用、故障時の保守ポリシー設定)
- \* 運転部門との調整

次にご紹介するのは、JR 東地区のほとんど全線で導入されている運行の管理システムで、ATOS (Autonomous decentralized Transportation Operation System) と呼ばれています。近郊の鉄道のすべての列車制御をし、駅に情報を表示して即時に乗客が得られるようにしています。スタートしたのは1990年で、最初の線区は、スライド中には出ていませんが、中央線の東京一甲府間に1997年に納入されました。スライドではデータが古いので導入済が15となっていますが、現在もう17線区に納入されており、来年11年でほとんど最終の完成期になると思います。

システム導入前に一番困っていたのは何かというと、事故や気象状況などでダイヤが変わるときです。手間のかかりようは尋常ではありません。一番大事なのは、運行を変更する、あるいは中止する列車を組みなおすダイヤの再編です。一方、駅放送には別装置があって、ダイヤが変わっても手動で変えていかないと臨時ダイヤに合った放送ができない。これらを全部自動化しようということでATOS導入を決めたわけです。

これは計画してから最終完成まで約20年かかるプロジェクトなので、その間に技術はどんどん進化するだろう、新しい技術を順次取り入れられないシステムでは死んでいくのではないかと、JRさんも我々も考えました。そこで、何とかしようと必死で考えたわけです。例えば、コンピューターシステムはメインフレームではもう駄目だ、高過ぎてどうしようもない。高速ネットは多分もっと速くなるだろう。ならばどうするか。今言う和一昔前の速度ですが、とりあえず100Mbpsのラインで、絶対にダウンしないようなシステムを張り、駅ごとに高いコンピューターではなくパソコンを置こう。パソコンが1台ダウンしたら、隣の駅のパソコンに機能を代替させよう。パソコンもどんどん

進化するだろう。進化したら、安いものだからその都度かえたらいいのではないか——というような大構想でやったわけです。こういったシステムの考え方を世界で初めて試みることにして、これが **Autonomous**、自律分散ということにつながっていったわけです。実は、他の会社線との乗り入れは当初想定していなかったのですが、乗り入れが始まっても、自律分散システムにしたものですから、ある会社のダイヤが別の会社のダイヤに入ってくることも簡単に対応できました。もし、新幹線の列車制御のようなことをやっていたら、とても対応できなかつたでしょう。現在は、他の **JR** にも展開しようという動きになってきています。

この例を言葉でまとめますと、自動化レベルの拡大。それから、進化するシステムに対して、どのようにシステム技術として対応できる構造をとるか。一番難しかったのは、最後にある運転部門との調整です。労働組合も違い、合理化嫌いな体質もありましたので、**JR** さんも我々システムエンジニアも随分頭を痛めました。ですが、最終的には受け入れられて、今になっています。

#### 4) 鉄鋼トータルシステム

- \* 製鉄技術の高度化によるコスト縮減、品質向上(高炉動作の解析/制御、連続鋳造化、メッキなど簿板処理の高速化、圧延の高速化/連続化、極薄板圧延、高精度化、総延長短縮)
- \* 省エネ、省力(自動化)
- \* 製鉄所内物流の合理化(受注/生産管理、入在庫管理などの合理化)
- \* これからは更なるエネルギー効率向上、CO<sub>2</sub>削減

今度は鉄鋼の例です。日本の製鉄技術、は世界一流です。今の世界の圧延機、圧延の制御、熱効率、人的効率では、日本がトップです。残念ながら、ミッタルが2006年に大買収をして<sup>1</sup>、原鉱石を制御してしまったものですから、日本はこれだけの技術にもかかわらず、全体の利益が危ない状況になってきています。製鉄のプロセスは、大きく考えると、原鉱石の取得を含めた全体システムなわけですから、これに対し、我々日本が余意を用いてこなかった歴史が、今の状況を招いてしまっている。

製鉄プロセスというのは、鉱石を高炉で還元し、それから熔融し、圧延ラインに乗せて、いろいろな板材をつくるというプロセスです。かつては、溶鋼から鋼片へ流れる間に、鉄は一遍冷やして固め、それをまた温めて流動体にして、圧延の工程へ流していました。これを何とかつなげられないかということで、開発した技術が連続鋳造です<sup>2</sup>。

それから、圧延の部分については日本塑性加工学会などが中心になって技術開発をやっているわけですが、非常に高度な圧延機の技術が日本で開発され、非常に薄い板材を、精度よく、表面の円滑度もよく、圧延できる技術は日本が今ナンバー1です。また、鉄の板材には種類がたくさんありますから、今のように温められてから冷えないうちに圧延して製品にするためには、かなりきっちりスケジューリングをやらないと省エネルギー化ができません。そういうこともシステムエンジニアリング、あるいは技術の対象に

<sup>1</sup>ミッタル・スチール社がルクセンブルクのアルセロールを買収し、世界最大の鉄鋼メーカー「アルセロール・ミッタル社」が2006年に誕生した。

<sup>2</sup>1970年代に連続鋳造機が発明され、現在では世界のほぼ全ての製鉄所で連続鋳造機が用いられている。

なりました。

それから、ここには書きませんでした、もう1つ大事だったのは人命尊重です。今まで製鉄会社では1年に何人か、いなくなってしまう。死んだという感覚ではなく、いなくなってしまう。鉄のどろどろしたところに人間が入ると、あっという間に、燐だけ成分に残る。そういう危ないプロセスであったのを、全部、省人化しようということで、自動化もしたのも入っています。

日本は、いろいろなことをやってトップの位置にあるわけです。私もそれに参加しましたが、まず、鉄鉱石が入って鉄板になるまでのプロセスを克明に勉強しなければ駄目です。何が問題なのか、どのくらいの違う材料、板材が流れているのか、人々がどういう形で運転しているのか、熱エネルギーがどれほど消費されているのかなど、まずは勉強です。お客様と話ができるように自らがなってから、さて、何をやりましょうかということを検討し、これまでに申し上げたようないろいろなことを引き出して、システムとしてまとめて納めるということです。

## 5) ユビキタス社会、知識社会

- \* いろいろ考えられ、動いているがシステムエンジニアリングが全く見えない
- \* 最終本当にどうしたいのか、どうできるのか、経過をどう設計するのかなど、全く不明
- \* 多くの人たち、組織が勝手にうごめいている、纏まって動けない
- \* 一方、ここでは、格段に多くの科学の集結が不可欠
- \* 誰がやるのか
- \* 社会システムとしての捉え方が見えない

あと2つあります。

1つは、ユビキタスです。僕らも随分政府にも提案しました。ところが、何を言っているのか、よくわからない。坂村さんもそうです。あれもいいのではないか、これもいいのではないか。世界はどうなるのか。だれが投資をするのか。投資というのは、企業がやる場合もあるし、民間のユーザーが相場的にやる場合も、携帯電話のようにありますが、とにかくこの分野はまとめる人がいないわけです。だから、幾ら、いいと騒いでも、これはまとまっていかない。これはシステム的に見ると非常に悪い例です。勝手にいろいろな人がいろいろなことを言って、では、どうしようかという議論がどこでもできていない。

本当は日本でやったほうがいいと僕は昔から思っています。携帯電話のほうは日本は結構いっていますが、例えば、今アメリカが言い出したナレッジソサエティーとか、ナレッジエコノミーとか、知識ベースの話になると、そこは何もありません。Googleがああいうふうにしたこととか、これからいろいろなことが出てくるでしょう。それに対して日本は口をあいて待っているだけです。こういう状態では情けないのではないかと思います。残念ながら日本に全体のリテラシーがないということと、統率をしようという意欲のある人がいないので、これはしばらく物にならないと思います。

一番いい例がe-政府です。今度、民主党が国民皆ナンバーをやるというのは僕は大賛成で、あれをやって、もっと中央政府の、あるいは地方政府の、合理化をやるべきです。税の問題、健康保険の問題、介護保険の問題、いろいろあります。それも、ではそのe-Japanで何をやるかということ、住民台帳をやっているからおかしいわけです。価値観

からいったら、住民台帳が最初では絶対ない。中央政府も人が減ったら困ると思っているのではないかと思いたくなるぐらいで、何をやるか、何のためにやるかという、一番の逃げ口は住民のサービス向上のためにということになる。それよりも小さい政府にするために何をやるかというのが大事だと思うので。こういうことを考えている人が、IT 戦略会議にもいない。これはしばらく動かないでしょう。

## 6) 経営の高度化

- \* これまでの経営は、直感的、他動的、非論理的
- \* 最終は経営者の判断とすべきだが、可及的に論理的要素を注入したい(市場変化予測、ビジネスモデルの変化予測、新しい環境の把握、競合他社の動き、リスクの予測/評価)
- \* ここでは、心理学を含む多くの異分野科学の統合が重要
- \* これからの問題、今苦しい努力を続けている

それから、今、私たちがいる一部でやっているのが、経営の高度化です。日本の経営は余りにも直感的・他動的過ぎるということで、何とかしたいと考えている。先ほどマーケティングの話が出ましたが、今までのマーケティングというのはアメリカがどうなっているか、ヨーロッパがどうなっているか、だから、日本はこうなるだろうということでしたが、これは人まねであってマーケティングではない。これから日本の、あるいは世界の人々が何を欲するであろうかということをやらなければいけないわけですが、それができていない。そういうこともやらなければだめなのではないかということで今スタートして、学の方々にもご協力いただいています。ある社会学者の方は、「私はこういうことしかやっていません。桑原さん、そっちはほかの人とやってください」と言って、まとまっていけないわけです。だから、これはスタートして1年になりますが、まだ先が見えない。こういう悪い例もあります。

3. システム技術に基本的なもの、技術は何であろうか？

さて、こういうのがシステムの1つということで頭に入れていただいて、システム技術に何か基本的なものがないか。

## 1) 基本的なもの

- \* 目的を達しようという強力な意欲(最近退化している)、これがまず大切である
- \* 最適な妥協ができる知見(最適の価値観はユーザー視点、システムは知識が不足すると競争に勝てる最適妥協点に到達しない)
- \* 必要な技術の統合・・・統括者がまず必要、必要技術を集める仕組み／捨てる仕組み、統合を展開できる仕組み、集められる人の意欲、協調心の確保、動きやすさ／快適さの確保、主となる技術／従となる技術の区分排除

これは私の意見ですが、基本的に大事なのは意志です。「あいつに負けるのは嫌だ」、あるいは「日本が〇〇国に負けるのは嫌だ。だから、すばらしいのを日本でやろうではないか」、そういう強力な意欲が、最近、退化している。これがない限りシステムは動かない。

2番目にあるのは、システムというのは妥協の産物だとよく我々は言いますが、最適解は最適提供物ではない。それはお金もかかるし、あるいは住民の受け方のスピードの問題もあるし、いろいろなことがあります。ですから、これが一番だと思っても、ある妥協をして提供して、時代とともにまた進化させていくというのが、システムの本髄だと思います。

それには、ほとんどの知見を自分で持っていないとだめなわけです。だから、今でいえば、異種の技術の統合が的確にできないとシステムは成り立たない。この統合の問題が1つあるだろうと思います。それが3番目に書いてあることです。

## 2) 基幹的な技術

- \* モデリング、シミュレーション、最適化、熱力学、流体力学などの基幹技術
- \* 目的別の高機能アルゴリズム
- \* 信頼性工学(ソフトの信頼性を含む)
- \* コスト工学(将来価値評価なども含む)
- \* リスク管理(犯罪出現の可能性なども含む)
- \* 人間系工学(人はどう動くか、感じるか、嫌がるか、快く受け入れるか)

- \* システムの長期間での変貌、改築、保守などの問題の予測、対応考察
- \* 品質工学(妥協の論理化、価値評価も含む)
- \* システム構造学(目的へ向けての構造論など)
- \* システム構築管理技術、進捗管理技術(進め方を誤るとコスト、時間、人がかかる)
- \* 契約技術
- \* 金融技術
- \* システムを格好よく売り込む技術
- \* などなど

少し離れて、基幹的な技術というものはあるのか。あるという方々も多数いて、そういうものは、ここに挙げたような、モデリング、目的をもって何かアルゴリズムを開発する、信頼性、コスト工学。このコスト工学というのは意外に大事で、今幾らかかるかということが中心ではないわけです。システムというのは、先ほどの JR の例にも見られるように、10年20年と使うわけですから、これをやるときに途中で社会がどう変化する

るか、そのときのコストの負担はどうなるのかということまで考えなければいけない。その他、リスクの管理や、一番大事だと私が思っているのは、人間工学、特に心理学です。そういったものがあります。

今、例えば、私たちが水のプロジェクトで困っているのは契約技術です。日本は今まで単品納入だけをしていましたが、これからは 20 年 30 年にわたって運転保守まで発注したいという人たちがふえていく。そうすると、インフレは起こるし、為替の大変動もあるかもしれない。あるいは、だれかが上流で毒をぶち込むこともあるかもしれない。いろいろなリスクをヘッジできるような契約は、僕の感覚だとアングロサクソンしかできないのではないか。それなら、雇った方がいい。雇うということは、この分野でいうと、システムエンジニアリング、システム技術です。自分でできないなら、ほかを呼んできた方がいい。また、インフラというのは資金の提供が常につきまとして必要ですから、金融の技術など、いろいろあります。

先ほど木村先生がいろいろ言われたことのしばらくの中心は、この契約や金融は少し外しておいて、まずはシステムの中核のところでは議論をしたほうがいいのではないかと考えています。

#### 4. システム技術とは

- \* システム技術とは結局は異種技術を目的実現のために集結、統合し、そして目的を実現化する技術ではないか？
- \* 目的は個別的であり、一般解はほとんど存在しないのではないか？
- \* しかし、何かあってもいい気もする これは今後の課題である
- \* しかし、学問的な追求が先行するのは良しとしない、恐らく道を誤るであろう

結局、システム技術というのは、異種の技術を目的実現のために集結、統合し、目的を実現する技術ではないだろうかと思えます。そうなると、目的は一般目的ではなく、個別的であり、一般解というのはほとんど存在しない。しかし、何かあったらいい。1つ考えられるのは、一般解はないけれども、目的に対して検討していくプロセス——中長期で見たようなものですが、そのプロセスの標準というのはあってもいいのかな、あり得るのかなという感じがしています。いずれにしても今後の課題でしょう。学問的な追求が余り先行し過ぎると、多分変なところに行きそうな危惧をしております、木村先生たちとよく調整しながら、両者のいいところで検討していきたいと思っています。

\* 当面具体的なテーマがいくつもある

- 1) 省エネルギー型の海水淡水化システム
- 2) 高い変換効率を持つ太陽エネルギーの電力変換システム
- 3) 高効率CO2固定化システム
- 4) いろいろな分野での新しいビジネスモデル
- 5) などなど

- ・ともかく、まず、具体的な大きいテーマに関係の者が集結し研究開発を推進する具体例を存在せしめたい
- ・これにより、システム技術とは何であるかの自問に答えられる異分野の人口が増え、大きな発展につながるであろう
- ・能力ある人材の育成のためにもそうしたい

さて、そういうことを言っている、具体的に動かないと、こういうものですから、教育もできない、人口もふえない、物も完成しない。今いっぱいあります。

例えば、海水淡水化、日本は逆浸透膜、ROの世界シェアの60%ぐらいを占めています。だから、東レさんや、あるいはそのほかに2~3、メーカーがありますが、膜を世界に売って回っている。それから、日本は高圧ポンプに強いものですから売っている。ですが、こういう部品がみんなできたとしても、水全体の商売の1%です。システムをやったら幾らになるかという、10%です。残りの90%は何かという、20年30年にわたってやる運転保守です。

だから、幾ら部品がよくても、ろくな規模の商売はできていないので、10%をまずねらって、それをねらっていくと90%が手中に入ってくるところが多々出てくる。納めたなら運転保守もやってほしい。いい例が、日立がとったイギリスの列車です。「日立が交通を全部納めるのであれば、これからの運転保守も全部お願いしたい」、「では、やりましょう」。さて、為替がどうなったらどうなるか、非常に不安ですが、そういう連携があるので、何かやろう。やるには、日本のためにもなり、また学も参加できて、人がそこで育って、学のほうにもシステムの志向が生まれてくるようなものを取り上げてやりたい。

例えば、一番上に書いたものだけ言いますと、膜を使った海水淡水化。これは、膜の中を超高圧のプレッシャーで海水を通すわけです。そうすると、何段か通すうちに、塩分が全くなくなって、飲み水になってくる。ところが、この高圧ポンプを動かすのにエネルギーがすごく要る。ですから、海水淡水化のプラントをどこか辺地につくろうとす

ると、必ず発電プラントをそこに納めないといけないぐらいの電力が要る。日本がそれほど電力を使わないで海水淡水化ができるような技術を開発したらいいのではないか。こういうテーマを挙げて、それに関係している学の人たち、あるいは産の人たちが1つのプロジェクトになってやれたら、日本は恐らく世界の海水淡水化の7割ぐらいはとれるでしょう。

ですから、国の、あるいは産学連携のプロジェクトとして、こういうことをやったらいいのではないかと思います。太陽エネルギーも光だけではない。光で受けて変換していますが、大変な熱を捨てているわけです。捨てるのにえらく苦勞している。だから、光と熱を同時に変換できるような技術を開発したらいいのではないか。いろいろありまして、これは皆様にも期待したい。これから具体的なテーマを2つぐらい起こして、国としてやっていく、それが国の成長につながるということの中に、育成もできるのではないかと提案したいと思っています。

結局;

- ・システムはいずれ完成する、動く、機能を達成する
- ・ここまでの段階で、競争に勝てるか？が勝負
- ・勝つには、
  - \*性能、初期投資コスト、運転コスト、保守の容易性、金融力、受注力、契約力などが重要
- ・システム分析的には機能、コンポーネントは全てつながっている、論理表示が出来る、問題は、いかに勝てるようにつながっているかである
- ・つまり、解は一つではなく、複数あり、各々の評価がしっかりできていて、ここから最良のものを選び出す作業が大切である
- ・システムエンジニアリングとはこういうことなのである

さて、システムというのは完成します。完成しないシステムはありません。私は上手くいっていないシステムの立て直しに駆り出されたことが過去に2回ありますが、やはり完成します。そして機能を発揮する。ですが、それは勝てたときにそれができるのであって、競争するという段階では、入札のときに勝てる技術を持っていないと、注文をもらえないわけです。だから、勝負は入札のときです。だから、入札のときに勝てるためには、これから定義したいと思っていますが、今はよく定義できない、すぐれたシステム技術力というのがあるわけです。それは、ここに書いてありますように、性能、初期投資コスト、運転コストなど、いろいろありますが、目的に応じて勝てるシステムの構築が必要だ。

それで、先ほど木村先生が、分析をやらうとおっしゃいましたが、もう1つ、構築というのを挙げていただいたから半分安心していますが、分析ばかりやっても何にもならない。反省はできるでしょう。ですが、そのときはもう注文は来ていないわけです。だから、何とかシステム技術をすぐ構築技術にまで高めないと実際には困るなということを非常に強く感じています。

それから、木村先生も言われたように、解は1つではありません。複数あって、我々システムエンジニアから見ると、明快に解析して解を出すという時間的余裕はない。あれをやったらこうなる、これはあれでだめだ、これをやったらどうなるか、こうなるな、あれよりいいな、もっといいものはないかというように頭の中で思考して、よし、これでいこうというものを選んだときに、詳細に書いてみる。それで、これで抜かりはないかということです。

先ほどのお話で、「→条件が全部決まっていない」という話がありましたが、それは大変重要な問題です条件が全部わからないと言っていたら商売になりませんから、僕らはどうしているかという、これだけの条件はシステムに取り入れた、これ以外は入れていない、だから、入れないことが起きたらこういうことをしよう、これでオーケーです。だから、余りロジカルにいき過ぎると実態と外れてくるので、この辺はこれからよく木村先生たちと議論しながら、正しい方向に持っていきたいと思っています。

要は、システムエンジニアリングというのはこういうことだろう。

- 最後に、システムエンジニアリングの現実**
- ・顧客幹部(含:政治、社会、企業)ニーズの把握・・・  
目的、費用対効果、スピード
  - ・具体策の策定
  - \*広義の目的に合わせて、必要な各種技術の統合、  
無ければ、新しい技術の開発
  - \*全体設計の設定
  - \*完成するための各種行為の実施

最後に、実際の我々の行動をご紹介します。

ある会社があるシステムをやりたいとします。昔は担当者のところへ行っていました。担当者は、余り変えたくない、今までのでいいはずだという思いですから、我々の考えは、もう担当者に言ってもだめだから、会社の社長、少なくとも社長かその下のクラス、副社長ぐらいで話を決めてくる。あなたは何をやりたいのですか、いつまでにやりたいのですか、どういう効果を期待したいのですか、これが大中心です。

それで、そのもとに、「わかりました。では、努力してやりましょう。そのかわりあなたの会社の人たちも全面協力をお願いします」と。では、部隊をつくらうということで、部隊が必ずできます。その中には、先ほどの JR のような労働組合問題があるところは労働組合の方も入れよう、あるいは、例えば、バランスシートが崩れそうだから少し資金を何とかしなければいけないということだったら、経理をちゃんと入れようということまで考えてチームをつくって、それでシステムの対応にかかるわけです。

そこまで行くと、具体策というのは、かなり幾つかのオプションを選びながら出てきます。ですが、ここで今申し上げていることは、結局、先ほども申し上げたように、システムというのはいろいろな技術の、あるいは知見の統合です。統合ということだと、統合する人がいなければいけない。

今、学と産が連携でやろうとして、統合者が見つからない。産業界がやりましょうということで、今度は先生方に、「こういうところで協力してください」と言うと、先ほど申し上げたように「私はここしかやっていませんので、こっちはやりません」と。先生方はまとめられるのが嫌なわけです。私は発見しました。私から言うと、先生方にお

願いするのは、一言で言うと奉仕です。今までの研究成果をこういうものに生かすための奉仕をしてくださいと言いたいのですが、そんなのは論文にならないということが裏にあるのかもしれませんが、これが日本のチャレンジでしょう。

そういうことで、システムというのは本当に大事なので、今、私は水のプロジェクトをやっていますが、日本のシステムがなかなかできないわけです。膜などは強いですが、どうしようもない。それで、どうしようかと今考えあぐねながら、やはり産官学でまとまって、例の 2700 億が 1000 億になりましたが、世界最先端にも採用していただいたので、絶対にあそこで水のすばらしいシステムを完成しようと思って、やる努力をしています。継続してよろしくお願いします。

ありがとうございました。

■編集担当 メンバー■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
本間 弘一	フェロー	(システム科学ユニット)
○前田 知子	フェロー	(システム科学ユニット)
武内 里香	フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2010-XR-05

JST-CRDS/NISTEP 共催講演会 記録

平成 22 年 6 月 June 2010

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  
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy  
Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7487

ファックス 03-5214-7385

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

©2010 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.

---

