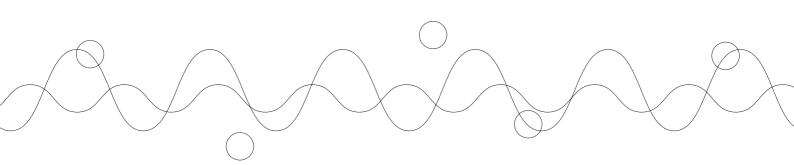
### CRDS-FY2010-XR-11

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 主催

# システム科学技術推進委員会記録

第7回 提言に向けて

### 2010年8月26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

# 目次

1.	. はじめに	1
	1.1 委員会の趣旨	1
2.	第7回委員会 概要	S
	2.1 第 7 回委員会 議事次第	3
	2.2 木村上席フェロー発表概要	4
	2.3 佐藤靖フェロー ご講演概要	5
	2.4 第7回委員会 参加者一覧	6
	2.5 システム科学技術推進委員会 委員名簿	7
3.	第7回委員会 講演記録	8
	3.1 木村上席フェロー発表記録	8
	3.2 佐藤フェローご講演記録	35
	3.3 アンケート結果報告記録	57
	3.4 総合討論記録	66

### 1. はじめに

#### 委員会の趣旨 1.1

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)は、我が国において今後研 究開発投資を行うべき研究領域、研究課題、及びその推進方策について提言することを目的に活動 している。

現在の日本が抱える様々な問題を解決するには、細分化された科学分野の中で研究領域・課題を 見出していくだけでは不十分であり、科学分野全体を俯瞰した上で、異なる分野を統合して問題解 決に適用していくことが求められている。そのためには、人間・社会・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―システム科学が不可欠である。

システム科学ユニットは、このような問題意識の下に、システム科学の推進とシステム科学によ る効果的な分野の統合化をはかっていくこと目指し、2009年10月にCRDSに新設された。

「システム科学技術推進委員会」は、システム科学ユニットの活動の一環として開催するもので、 有識者による議論を通じて下記を実施する。

- (1) 日本におけるシステム思考(システム科学)の弱さや、システム思考が弱いために生じてい る様々な問題の明確化
- (2) 問題を解決するための共通する理論や方法論の体系化、及び現代科学技術におけるシステム 科学の位置づけの明確化

また、これらの結果を受けて、個別分野とシステム科学の協働のあり方や、システム科学の推進 方策に関する政策提言の作成を目指す。

本記録は、委員会に参加する有識者の問題意識の共有化をはかることを主目的に、「提言に向けて」 というテーマの下に開催された、第7回委員会の内容を取りまとめたものである。

### 1.2 第7回のテーマ設定に関して

本年の前半、6回に亘り開催してきた「システム科学技術推進委員会」では、前節で示されている委員会の趣旨、「(1)日本におけるシステム思考(システム科学)の弱さや、システム思考が弱いために生じている様々な問題の明確化」を中心に討論してきた。それらの討論を中心に、ユニットでの調査を加え、7月には中間報告書「システム科学技術の役割と日本の課題」をまとめてきた。後半の委員会では、「(2)問題を解決するための共通する理論や方法論の体系化、及び現代科学技術におけるシステム科学の位置づけの明確化」を議論しつつ、政策提言を目指すことになる。第7回は、この後半のキックオフの意味合いを込め、テーマ設定を「提言に向けて」とした。

### 2. 第7回委員会 概要

### 2.1 第7回委員会 議事次第

1. 日時·場所

日 時:8月26日(木) 10時~12時30分

場 所: JST 研究開発戦略センター 2 階大会議室

テーマ:提言に向けて

2. プログラム

(敬称略)

 $10:00\sim10:05$ 

配付資料確認 [事務局]

10:05~10:45 (発表 30 分+質疑 10 分)

中間報告書について [木村上席フェロー]

10:45~11:25 (発表 30 分+質疑 10 分)

1960年代の日本のシステム技術 -新幹線と汎用コンピュータ

[佐藤靖フェロー]

11:25~11:40 (発表 15 分)

アンケート結果報告 [事務局]

11:40~12:30 (50分)

総合討論 : 今後の進め方について [事務局]

閉会挨拶 [木村上席フェロー]

3. 配布資料

資料1 委員名簿

資料 2 第 7 回参加者一覧

資料 3 講演資料(1) (木村上席フェロー)

資料 4 講演資料②(佐藤靖フェロー)

資料 5 アンケート結果概要(事務局)

冊子:中間報告書

冊子:第5回委員会記録集

### 2.2 木村上席フェロー発表概要

- ◆ 本日は、中間報告の概要、第 4 期科学技術基本計画に関する有識者議員との意見交換、そして システム科学技術推進委員会の今期後半の活動方針についてお話しする。
- ◆ 中間報告書の主要な部分は、2章「科学技術の変貌とシステム科学技術の役割」と、3章「日本のシステム科学技術」である。それらの章で、システム科学技術の位置づけ(科学技術の発展の中で果たして来た役割)、日本のシステム科学技術の展望、現状の停滞とその原因について述べた。
- ◆ 中間報告書の主な内容は以下の通り。
- (1) システム科学技術が果たしてきた役割(新しいシステムの構築、複雑性と不確実性のマネジメント他)
- (2) 日本のシステム科学技術が輝いていた高度成長期(新幹線、1,000万トン一貫製鉄所他)
- (3) 日本のシステム技術の遅れ(次世代ロボット、ゲノムシーケンス他)
- (4) ものつくり路線への傾斜
- (5) 忘れられてきたシステム科学技術
- (6) 何をなすべきか
- ◆ 第4期科学技術基本計画の検討プロセスに合わせ、システム科学ユニットの考えをまとめ、総合科学技術会議の有識者議員と意見交換した。
- ◆ そこでの主な内容は、基本計画草案へのコメントに加え、以下の通り。
- (1) システム技術と要素技術は相補的、お互いに刺激しあって発展してきた。
- (2) システム科学技術による政策課題解決の全体スキーム
- (3) 社会課題のブレークダウンにはシステム科学技術によるアプローチが有効
- (4) イノベーションあるいは社会課題解決は、システム構築により実現される。そのためのシステム技術は、従来型システム技術(アポロ計画他で利用)とは異なる新しいものとなる。
- ◆ システム科学技術による政策課題解決について以下の3つの例で検討した。
- (1) 低炭素社会のトータル・エネルギーマネジメントシステムの実現
- (2) 世界的な水需要増大への対応と水ビジネスの展開
- (3) 高齢社会における健康維持を目指したシステム医療の実現
- ◆ 今期後半の委員会の活動方針は、前半の成果を踏まえて、システム科学技術を振興するための 提言をまとめることであり、以下について検討する。
- (1) 現代科学技術の総体的な把握にもとづくシステム科学技術の基本理念
- (2) イノベーションをシステム科学技術で下支えをするための具体的な方策
- (3) システム科学技術の基盤整備のための施策(人材育成、拠点形成、法整備)

#### 2.3 佐藤靖フェロー ご講演概要

- ◆ 以前、新幹線の歴史や汎用コンピュータの歴史を調べた。本日、その内容についてお話しする。
- ◆ 東海道新幹線計画は、十河信二国鉄総裁(55年就任)と島秀雄技師長(同年就任)のリーダー シップのもと進められ、59年起工、世界銀行からの借款も受けながら64年開業に至った。
- 東海道新幹線は現在から見ると、明らかに非常に高度に洗練された技術システムであるが、当 時、国鉄内の多くの技術者にとってシステムの概念というのはいまだ明確ではなくて、システ ム工学というものはほとんど知られていなかった。
- ◆ 一方、国鉄は OR (オペレーションズ・リサーチ;システム運用に関する科学的分析手法) な ど、新しい概念を海外から導入することに関して意欲的な、国内でも最優秀の技術者集団であ った。しかし、それらの実践は遅れた。
- ◆ OR は、50 年代半ばに導入され、操車場業務などへの応用が研究された。サイバネティクス(動) 物と機械における制御と通信の学問)についても、50年代に導入され、電子技術調査委員会な どが推進を図った。
- ◆ それらは電子技術やコンピュータの導入を進めるきっかけとなり、またシステム工学に関する 認知につながったものの、OR やサイバネティクス自体は国鉄内部や現場には定着せず、導入 の運動は時間とともに下火になった。
- ◆ その原因に、国鉄の経験主義があった。すなわち経験に基づく技術が一番重要だという根強い 考え方があり、新しい動きには醒めた見方があったためである。
- ◆ 新幹線の計画・建設は、システム工学の興隆(69年アポロ計画成功で注目)より前であり、ア メリカ流システム工学が新幹線に適用されたというのは誤りである。島技師長は、システムの 組み上げ方を経験的にマスターしていた。
- ◆ 建設基準(軌間、最高速度、最大勾配、最小半径、レール重量、軸重)の策定は、システム最 適化ばかりでなく、経験知、世銀借款への配慮を組み合わせて行われた。
- ◆ DIPS (Dendenkosha Information Processing System)は、1960 年代末から 1990 年代にかけて 電電公社が開発した、データ通信サービス用の汎用コンピュータである。
- ◆ DIPS 開発では、電電公社の戸田巖の強力なリーダーシップの下、初代実用システム DIPS-1 の 開発が行われ、並行してソフトウェア工学の導入が進められた。
- ◆ DIPS-1 の開発では、メーカー間の競争と協調により信頼性の高いシステムが完成した。
- ◆ 巨大なソフトウェアの開発は 500 名以上の共同開発となり、開発プロセスの標準化が、「作業標 準」という文書のもとで図られた。
- ◆ 電電公社におけるソフトウェア工学の導入は、早期に、かつ海外の動向とは独立して行われた。 (ただし後には、構造化プログラミング等の技法が海外から素早く導入された)

## 2.4 第7回委員会 参加者一覧

敬称略

氏名	所属機関	役職					
講師							
佐藤 靖	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー					
委員							
岩橋 良雄	日鉄日立システムエンジニアリング(株)	代表取締役社長					
桑原 洋	(株)日立製作所	特別顧問					
前山 淳次	株式会社 富士通エフサス	顧問					
丸山 宏	キヤノン(株)デジタルプラットフォーム開発本部	副本部長					
赤松 幹之	(独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門	研究部門長					
内田 健康	早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科	教授					
倉橋 節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科	准教授					
三平 満司	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					
津田 博史	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授					
椿 広計	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所	副所長					
出口 光一郎	東北大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻	教授					
中村 佳正	京都大学 情報学研究科 数理工学専攻	教授•研究科長					
安岡 善文	国立環境研究所	理事					
吉岡 真治	北海道大学大学院 情報科学研究科 コンピュータサイエンス 専攻	准教授					
丹羽 邦彦	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー					
事務局							
木村 英紀	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー					
本間 弘一	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー					
前田 知子	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー					
武内 里香	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー					

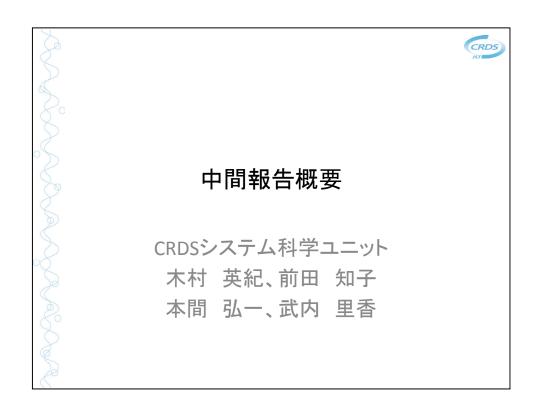
## 2.5 システム科学技術推進委員会 委員名簿

(2010年8月26日開催時)

氏名			所属機関	役職			
産	産						
1	岩橋 良雄		日鉄日立システムエンジニアリング(株)	代表取締役社 長			
2	桑原 洋		(株)日立製作所	特別顧問			
3	前山 淳次	Z.	株式会社 富士通エフサス	顧問			
4	丸山 宏		キャノン(株)デジタルプラットフォーム開発本部	副本部長			
学							
5	赤松 幹之	-	(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門	研究部門長			
6	内田 健康		早稲田大学 理工学術院 電気・情報生命工学科	教授			
7	倉橋 節也	Ļ	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科	准教授			
8	三平 満司		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			
9	杉原 正顯	į	東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻	教授			
10	津田 博史	! -	同志社大学 理工学部 数理システム学科	教授			
11	椿 広計		大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所	副所長			
12	出口 光一	·郎	東北大学 大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻	教授			
13	中村 佳正		京都大学 情報学研究科 数理工学専攻	教授·研究科長			
14	古田 一雄		東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻	教授			
15	安岡 善文		国立環境研究所	理事			
16	吉岡 真治	ì	北海道大学大学院 情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻	准教授			
官							
17	市原 健介	,	(独)日本貿易振興機構	産業技術部長			
18	板倉 康洋		東京農工大学	学長特任補佐			
JST	関係者						
19	吉川 弘之	•	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	センター長			
20	有本 建男	ļ	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	副センター長			
21	黒田 昌裕	; 	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー			
22	丹羽 邦彦	:	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー			
23	笠木 伸英	:	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー			
事系	事務局						
24	木村 英紀	ļ	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	上席フェロー			
25	本間 弘一		(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー			
26	前田 知子		(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー			
27	武内 里香	:	(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー			

### 3. 第7回委員会 講演記録

### 3.1 木村上席フェロー発表記録



おはようございます。どうも暑い中をお集まりいただきまして、ありがとうございます。7月は休ませていただきまして、今日は少し時間を置いて、改めて後半の最初のキックオフという位置づけになっております。皆様方のお手元にお配りしてあります中間報告書ですが、これはシステム科学ユニットがこの半年間、この委員会の討論も含めまして調査をした結果でございます。それについてのご報告をこれから少しさせていただきたいと思います。

# CRDS

# 目次

- 中間報告書概要
- 第4期科学技術基本計画に関する外部有識 者との意見交換
- 今期後半の委員会の活動方針

今日のプレゼンテーションは「中間報告書について」と題しているのですが、それは前半で簡単 に済ませ、中間報告については、後で暇な時間を見つけてお読みいただければと思います。いろい ろご意見等、読まれてコメント、ご意見、ご叱正等がございましたら、ぜひ私どもあてにメールで も何でも結構ですので、お寄せいただければと思います。私どもは決してこれを完全なものと思っ ておりません。

後半は、第4期科学技術基本計画に関して、総合科学技術会議の有識者議員と意見交換を行いま した内容について報告させていただきます。現在、第4期科学技術基本計画は策定の最終段階に入 っておりますが、システム科学技術とはどのようなものでどういう形で必要かということについて、 6 月末の公開ワークショップ後に対応してまいりましたので、ご報告をさせていただきたいと思い ます。

それから、今日は最後に1時間以上議論の時間をとってございますが、そこで議論していただく 今期後半の委員会の活動方針について少しお話しするということで、この3点をこれからお話しさ せていただこうと思っております。

# CRDS

### 中間報告書 目次

#### 1. はじめに

#### 2. 科学技術の変貌とシステム科学技術の役割

#### 2.1. 変貌する科学技術

- ものの氾濫:ものからコトへ 2.1.1.
  - ますます複雑化する人工物システム:要素からシス
- 2.1.3. 複雑さが凝縮したソフトウェア:ハードからソフトへ
- 不確かさとリスク増大
- 215 科学的合理性と公共的合理性
- 国家戦略となった科学技術 2.1.6. 研究開発の新しいスタイル: 知の統合

#### 2.2. システム科学技術の課題

- 2.2.1. 新しいシステムの構築 2.2.2. 複雑性と不確かさのマ 複雑性と不確かさのマネジメント
- 社会的期待と科学的知識との邂逅 2.2.3.
- 2.3. システム技術の発展
  - モジュール化と規格化はシステム技術の出発点
  - 2.3.2. 階層化
  - システム技術の発展 2.3.3.
- 2.3.4. システム思考 2.4. システム科学の系譜
- 2.4.1. システム科学と人工物の科学
- 2.4.2. 要素環元論とシステム科学
- モデリングはシステム科学の核 2.4.3.
- 2.4.4. 計算
- 制御 2.4.5.
- 適応複雑システム
- 社会科学との融合:合理的な意思決定の基盤確立を 2.4.7.

#### 3. 日本のシステム科学技術

- 3.1. 日本のシステム技術の歴史
  - 3.1.1. 高度成長期の日本のシステム技術 3.1.2. 省エネ、省力、環境対策で発揮された
    - システム技術の底力
  - ロボット:その光と影 その後の退潮と「ものつくり路線」への傾倒 3.1.4.
- 3.2. 日本のシステム科学の現状
  - 3.2.1. ファンディング
  - 大学組織 3.2.2.
  - 3.2.3.
- 3.3. システム思考を阻む日本の制度と風土
  - 3.3.1. 縦割り行政と実態 科学技術研究の視点から 3.3.2. エレメント産業とアンブレラ産業

  - 3.3.3. 大学の問題 3.3.4. 普遍性の問題 普遍性の問題
- 4. 何をなすべきか

3

まず、中間報告書の概要ですが、これが目次でございます。基本的には章は 2 つでございます。 「はじめに」と「何をなすべきか」、これは特に非常に深い内容があるわけではございません。特に 4の「何をなすべきか」、これはこの委員会の後半の課題ですので、それほど実は気合いを入れて書 いたわけではありませんで、ある種の必要性に迫られて書いたというところです。2章「科学技術 の変貌とシステム科学技術の役割」、それから3章「日本のシステム科学技術」、この2つが主な内 容になっております。これについては、実は前回の公開ワークショップで少し詳しくお話ししてお りまして、重複になってしまうということもございますので、ごく簡単にかいつまんでご説明させ ていただきたいと思います。

# 概要



- ロシステム科学技術の位置づけ(科学技術の 発展の中で果たし来た役割)
- □日本のシステム科学技術の展望:現状の停 滞とその原因
- □何をなすべきか

当委員会の議論で明らかになったこと・ユニット の調査結果を統合

この概要、今ご説明したとおりのところですが、内容を6つほどに分けてお話しいたします。

# 主要内容(1) システム科学技術が果たしてきた役割



□新しいシステムの構築 例:電力供給網、フォードシステム、タンデム圧延機、等

システム技術の貢献

- ・モジュール化、規格化、階層化は基本
- ・システム技術の発展

例;モデル化、最適化、ネットワーク解析、制御、プロマネ、等

- □複雑性と不確かさのマネジメント
- □社会的期待と科学的知識の邂逅

まず、システム科学技術がどういう役割をこれまでの科学技術の中で果たしてきたかということ を簡単にまとめております。新しいシステムが過去に構築されてきたこと、要素技術だけではなく てシステム技術が科学技術の発展のためには不可欠であったということですね。

その典型的な例として電力供給網、フォードシステム、タンデム圧延機等を紹介しております。 それが新しいシステムの構築というもの、それとあと、システム科学技術の役割として複雑性と不確かさをマネジメントする、社会的期待と科学的知識の邂逅を担うというような役割もあるということをオプションの中で書いております。矢印で囲んだ部分はシステム技術の一つのこれも例です。 モジュール化、規格化、階層化で、それをベースにシステム技術が発展して、上に書きましたような電力供給網、そういうものを構築してきたということを簡単に書いてございます。

# 主要内容(2)



日本のシステム科学技術が輝いていた高度成長期

### ロ新幹線システム(′64年開業)

- ① システム科学技術(オペレーションズ・リサーチ、サイバネティクス)を、 鉄道分野では50年代から導入。
- ② 200km/hrの安定走行に向け、先進システム技術を実装。

### ロ電電公社データ通信用計算機DIPS('69年開発開始)

- ① 電信、電話に次ぐデータ通信事業に向けて大規模開発。
- ②「ソウフトウェアエ学」の概念を確立。

### ロ年産1000万トンー貫製鉄所の生産管理(′71達成)

- ① 計算機による生産管理の自動化で、生産量の限界を突破。
- ② 当時、世界で例のないオリジナルなシステム。

6

日本のシステム科学技術が輝いていた高度成長期、この後佐藤フェローのお話の内容にかかわっておりますけれども(実は私どもはこの調査を始めて以降、気がついたことです)、我が国のシステム技術も捨てたものではないという、端的に言うとそういうことですね。特に 60 年代、70 年代は世界の先端を走っていたのではないかということで、その例として新幹線システム、電電公社のDIPS があります。この 2 つの例はあとで佐藤さんのほうから詳しくお話しいただくことになっています。それから、年間 1,000 万トン一貫製鉄所の生産管理、これも世界では類を見ない製鉄所が建設できた、その根幹にシステム技術があるということ、ほかにも例が幾つか例が挙がると思います。ただし、この時期のシステム技術と現在、必要とされているシステム技術はまた大きなギャップがありまして、はるかに難しい、システム技術が難しい局面に差しかかっているということも書いてございます。



# 主要内容(3) 日本のシステム技術の遅れ

### ロ次世代ロボットの遅れ

- 期待を裏切り、製造業以外の分野でのロボット市場は開けていない。
- 社会システムとしての技術開発ターゲットの設定不足。

### ロゲノムシーケンシング

日本が先行していたにもかかわらず、システム技術としてのファンディ ングの理解がなく、欧米に主導権を渡した。

### ロ システム半導体の遅れ

・個別要求ごと、チップ上で(標準/既存)機能回路を最適に組合せる システム技術の遅れ ←産業構造変化(垂直→水平)の予見不足。

### ロソフトウェアの退潮

国家プロジェクトによる後押しにも関わらず、低い国際競争力。

そういう 60 年代、70 年代に輝いていた日本のシステム技術も、やがていろんな意味で立ちおく れが目立ってきています。それについても幾つかの例、これをエビデンスと言えるかどうかはわか りませんが、幾つか例を挙げております。一つは次世代ロボットのおくれ、これもかなり詳しく報 告書では書いてございます。それから、ゲノムシーケンシング、これはサイエンスのほうですね。 ここでも日本が先行していたにもかかわらず、中断してしまったということです。これはまさにシ ステム技術と生物学の最初の大規模な邂逅を見逃してしまったというようなこと、それから、シス テム半導体の遅れ、これは今でも非常に強く尾を引いておりますが、ソフトウェアの退潮、こうい うことが、私どもの調査の結果として書かかれております。

# CRDS

# 主要内容(4) ものつくり路線への傾斜

- □1990年代前半に、日本の製造業に逆風が吹き始めた。
  - 幾つかの初等的なミスが原因の事故発生
  - 2007年問題(団塊世代の退職)
  - バブル崩壊/金融危機
- ■80年代の製造業の世界制覇による成功体験と、90年代の「危機」が伝統回帰へと向かわせ、「ものつくり」路線が定着。
- □90年代後半の科学技術の国家戦略化が「目に見える科学技術」へ傾斜する傾向を強めた。

8

さらに、それにだめ押しのような形で痛手を受けたのが、ものつくり路線への傾斜ということです。それは90年代半ばぐらいに非常に強く起こってきた。日本の製造業が80年代に世界を制覇しましたが、その後、急に変調をきたしました。いろんな理由があるんですけれども、幾つかの初等的なミスによる事故が発生したと。それから、2007年問題、団塊世代の退職で技術の継承に対する警鐘が鳴らされたということ、バブル崩壊/金融危機、これはプラザ合意というものがあるのですけれども、円高になってきた。それから、もう一つ、ここに書いていませんが、海外への工場の移転による日本の製造業の空洞化、技術の空洞化が叫ばれた。こういう危機が起こりますと、必ず伝統に戻れという動きが起こるのが常でございまして、まさにこの時それが起こりました。つまり、日本の強いものつくりに日本の未来を託すという考え、その場合のものつくりというのが、この言葉が示すように伝統的な日本の江戸時代から、中世、近世の日本のわざと重ね合わせた製造技術というようなことで、まさに伝統回帰へと向かったのではないかというのが私たちの見方であります。

### 主要内容(5) 忘れられてきたシステム科学技術

# CRDS

- □ものづくり基盤技術振興基本法(1999)
  - 成型、圧延、染色、巻き取りなど26種類のものづくり基盤 技術を定義しているが、いずれもシステム技術とはほとん ど無縁の典型的な要素技術である。
- □科学技術基本計画の分野別の振興策
  - それほど予算を必要とせず、分野を横断する色彩が強い システム技術は、存在を主張する根拠と場所を失った。
- ロマスメディアによる目に見える成果の賛美
  - 目に見えない科学技術の典型であるシステム科学技術 は、マスメディアでは報じにくい。システム科学技術が研 究者にとっても魅力が薄れてきた。

9

昔も危機のたびに伝統に向かうというはあったわけで、それも我が国だけではなくて、そういう ことが起こることが多いのであります。危機の本質を見据えて、新しい方向に向かうという形で危 機を回避するという例は余り多くないのですね。ここが問題であったという気がしておりまして、 ものづくり基盤技術振興基本法というのが99年に成立したと。これが頂点にあったと。それもこ こに書いております。

科学技術基本計画の分野別の振興策の中で、分野別という形になってそれほど予算を必要とせず、 分野を横断する色彩が強いシステム技術は、存在を主張する根拠と場所を失ったと、ちょっと強い 言い方をしておりますが、そういうような私どもの総括を、この時期の総括というと変ですけれど も、まとめをしております。

さらに、マスメディアによる見える成果の強調という問題があります。やはりたくさん科学技術 にお金が流れるようになりますと、国民へのアカウンタビリティということで、マスコミを使った 成果の喧伝というのが非常に重視されます。これは産官学、特に官学ではそういうことになりまし て、それがシステム技術をさらに見えないものにしてしまったということがあると思います。この 辺は少し私どもの推測も入ったものでございます。

### 主要内容(6) 何をなすべきか



- □システム構築をソリューションとするイノベーション課題を 設定し、要素技術とシステム技術の連携を具体的に進め る。
  - システム医療:健康大国へのシステム科学技術のアプローチ
  - 介護・医療ロボットの知能化とインフラ整備の統合
  - 低炭素トータル・エネルギーマネージメントシステムの実現に向けた 基盤システム技術
- □システム科学技術を推進する全国拠点を設置し研究開発 と人材育成を進める。
  - モデルにもとづく最適な意思決定
  - データベース形の方策決定
  - シナリオベースの意思決定
- □システム科学技術推進を統括する中央組織を設置する。

あと、何をなすべきか。これについては後半のテーマになりますが、システム構築をソリューシ ョンとするイノベーション課題を設定し、要素技術とシステム技術の連携を具体的に進めていくと いうこと、これは3つの例を挙げております。これは後半スライドの中でも出てまいりますので、 ここでは省略させていただきたいと思います。

# 日次



- 中間報告書概要
- 第4期科学技術基本計画に関する有識者議 員との意見交換
- 今期後半の委員会の活動方針

以上が中間報告書をごくかいつまんだ内容でございます。こういう議論をベースにして、これか らどうするかということを今後、考えていきたいと考えております。これまでお話ししたことでま だ、非常に不十分でして、いろいろ調査が行き届いていない面もございまして、私どもはそれなり にこれから少しずつでもきちんとエビデンスをそろえて先ほどの主張をしていきたいと考えており ます。

続きまして、第4期科学技術基本計画に関する総合科学技術会議有識者議員との意見交換の内容に ついて、ここでご報告させていただきたいと思います。

# 第4期科学技術基本計画の検討経緯

- □基本政策専門調査会における審議
  - 第1回(09/10/1)~第9回(10/6/16)
  - 第10回(10月予定)
- □施策検討ワーキング・グループ(第9回基本政策専 門調査会にて設置決定)
  - 第1回(7/21)
  - 第2回(8/5):基本方針のI.とII.を議論
  - 第3回(8/25):基本方針のIII.とIV.を議論
  - 第4回(9/8):基本方針のV. ならびに答申素案を議論
  - 第5回(9/30):答申素案を議論
- ロシステム科学ユニットの考えをまとめた説明資料を 作成し、有識者議員に説明(7/27、8/11、8/24)

科学技術基本計画は5年1期で、来年の3月に第3期が終わり、4月から第4期に移行しますの で、現在、第4期科学技術基本計画の検討も最終段階に入っております。このスライドではその検 討経緯を簡単に書いてございます。いずれも総合科学技術会議の中での話です。

基本政策専門調査会が9回行われまして、6月で中断している状況で、第10回が10月に予定さ れております。中断している間に、施策検討ワーキング・グループが活動しており、ある程度は基 本政策専門調査会で出した案に沿って、具体的に文案をつくっていくという作業が第1回、第2回 と章ごとに行われております。

システム科学技術について話を聞きたいという総合科学技術会議有識者議員からの希望がありま して、システム科学ユニットからトータルで3回システム科学技術についてご説明し、現在の草案 に対してコメントをさせていただきました。その内容はこの委員会の活動とも非常に関係が強いの でこの場でご紹介させていただきたいと思います。

# 基本計画草案へのコメント骨子



5. 課題解決型研究開発の共通基盤を支える

[修正案] 章タイトルから「課題解決型」を削除

5. 研究開発の共通基盤を支える

#### [修正案] (1)の例) に下線部追加

(1) 領域横断的な共通基盤となる科学・技術を強化する 例)システム科学技術、最先端解析・計測技術、数学・数理科学技 術、高度情報通信基盤技術 (e-サイエンスを含む)、バイオリソー

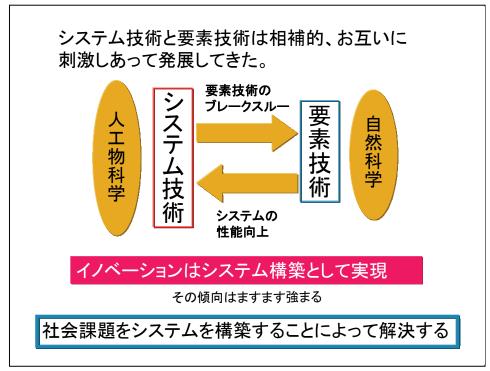
#### [修正案] 現状の(2)を(3)へ変更し、(2)として下記を追加

(2) 領域統合を担う科学技術の振興と人材育成 現実の問題に取り組むシステム構築を通じたプロジェクトの実施 と、これを通じたプロジェクトマネジメント力、社会課題の抽出力 等のある人材育成

まず、コメントの骨子ですが、6月16日付の基本計画草案では、3章が「国の重要課題の解決に 向けた研究開発の推進」というタイトルで、この章は5つに節が分かれていて、その5節が「課題 解決型研究開発の共通基盤を支える」となっています。この中でシステム科学技術というものをこ ういう形で取り込むことが必要だという考えをご説明いたしました。

このスライドは最終的にまとまった案ですけれども、その説明資料をつくっていく過程でいろん な勉強をしまして、今後システム科学技術に関してどういう提言をすればいいのか、おぼろげなが ら少しずつつかめてきたように思います。

※以降のスライドは、総合科学技術会議有識者議員への説明資料より抜粋したもの

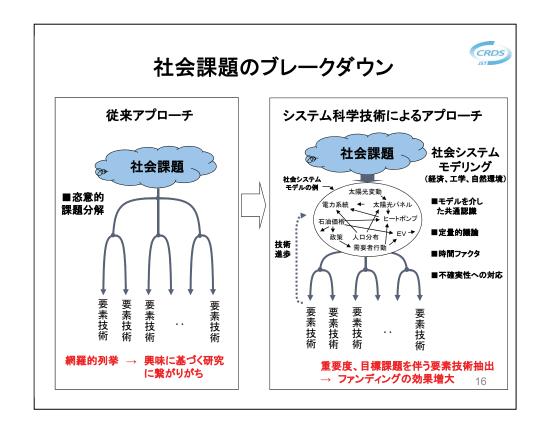


まず、確認しておきたいことはシステム技術と要素技術は相補的、お互いに刺激し合って発展し てきたということ、要素技術かシステム技術かという二者択一の形で問題を提示するのではなくて、 両方がお互いの特色を生かしながら、互いに相補い合いつつやっていかなければいけないというこ とです。これは当然のことといえば当然のことですけれども、私どもはそれをここで確認をいたし まして、総合科学技術会議有識者議員にご説明をする際にもこれを強調しました。

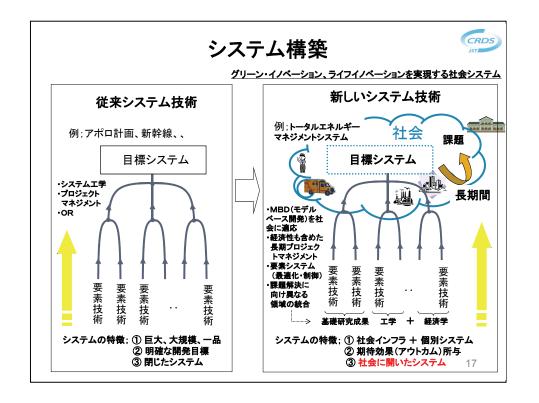
もう一つは、イノベーションはシステム構築として実現するという場合が多いのではないかとい うことです。イノベーションを実現するためには、結局はあるシステムを構築する必要があって、 そのシステムは、普通のシステムというよりは、むしろ社会システムと呼ぶべきものである。社会 というキーワードは、新幹線とか鉄鋼とかDIPSとか、かつての60年代のシステムに比べ、はるかに 重要性が大きくなっています。つまり、社会的な課題は、システムを構築することによって解決さ れる。すべてとは言いませんが、そういうケースが非常に多いのではないか、特にライフとグリー ン・イノベーションはまさにそういうことであると考えております。

システム構築として実現する以上は、そこでシステム科学技術が非常に大きな役割を演じること になります。今後のシステム科学技術にとって、社会というキーワードが基本的なものとなると考 えています。

もう少し具体的に説明しますと、重要政策課題というのが与えられたときに、政策課題をまずシステム構築として把握する、解決もシステム構築として把握していき、課題を解決するプロジェクトを実施する。システムの全体構造を設計して、そのもとで研究開発領域を定めて、個別研究課題をピックアップすると要素技術が出てきますので、それをさらに今度はボトムアップでシステム構築を行って解決に持っていく。当然といえば当然ですけれども、こういう風に説明することによって、システムという視点の重要性が非常にはっきり出てきますし、同時に、それを強くアピールする必要があることがわかります。



まずトップダウンの課題が与えられたときに、それをいかにシステム構築として把握するかとい うこと。従来のアプローチは、課題がありますと、これに必要ないろいろな要素技術を恣意的にピ ックアップして網羅的に列挙しております。すると、興味に基づく研究になりがちであるという問 題があります。それに対してシステム科学技術によるアプローチをとりますと、社会的な課題をま ずシステムという媒介にして考察します。まずどういうシステムを構築すべきか、しかも将来の進 化まで含めて、システムのイメージをつくり上げる。それによって要素技術が構造化される、必要 な要素技術が網羅的かつ恣意的ではなくて、どういう技術がどれぐらい必要かと、しかも将来的に 要素技術がどういうふうに発展してほしいかというところまで展望することができます。したがっ て、ファンディングの効果が増大するのではないか、こういうお話をある程度、させていただきま した。



今度はボトムアップのほう、要素技術が与えられたときに、それをどういうふうにシステムとしてまとめていくかということを述べています。従来では、例えばアポロ計画や新幹線というのはこういう目標システムで、いろんな要素技術をある程度、統合した結果である。しかし、これからは右側に示したようになければいけない。大きな違いは、先ほど申し上げましたように、そこに「社会」があるということです。

例えば新成長戦略では、水や環境システムなど、そういうシステムを日本が輸出するということをかなり重要なキーポイントとしてうたっております。ほかの国に日本のシステムの経験を輸出す場合、社会との親和性というのはさらに大きな問題になってくるわけですね。日本でやる場合と全然違う様相が生まれてきます。そうすると、こういうボトムアップのやり方も随分違ってくるのではないか。このあたりは、これからぜひ議論を深めていきたいと考えております。

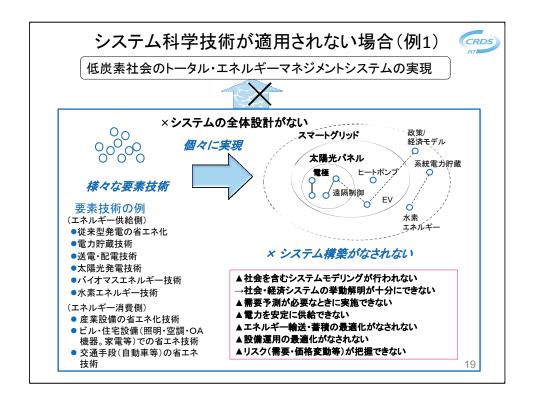
社会に開いたシステム、これが60年代、70年代と現在のシステムの違いでございます。



システム科学技術による政策課題の例として、ここで低炭素社会のトータル・エネルギーマネジ メントシステムを挙げています。これは制御システム分科会において議論をしていただいた内容か らこの資料をつくりました。再生エネルギーをエネルギーネットワークに入れて使う場合に、どう いう問題が起こるかという点を含め、エネルギーシステムについて議論をしていただいたものです。 まず、システムの全体構造を設計する。これが先ほど申し上げたトップダウンのやり方でありま す。要素技術はたくさんあります。環境の要素技術については、CRDS の中で環境技術ディレクト リというものを作成しておりまして、その中から関連するものをピックアップいたしました。こう いった要素技術を、システム科学技術によって統合し、システム構築を実現するためには、どのよ うなシステム技術が必要か。ここでは、設備運用最適化技術、需要運用の最適化技術(狭義のスマ ートグリッド)、需要予測技術、リスク管理技術、社会を含むシステムモデリング技術、などの技術 を挙げております。

これらの技術に対して、こういうシステム科学技術が解くべき研究課題が生まれる。例えば、時 空間を超えたエネルギー利用のためのエネルギー輸送・蓄積の最適化、変化の大きい不安定な再生 エネルギーを含む広域分散電力システムを安定化したり、現状がどうなっているかという状態を推 定したりすること、それから経済システムとしての挙動解析、こういう社会ではどういうインフラ のもとで、どういうふうに経済効果が上がるかというようなことを分析することが必要になる。こ れらはシステム科学技術が解くべき課題であると考えます。

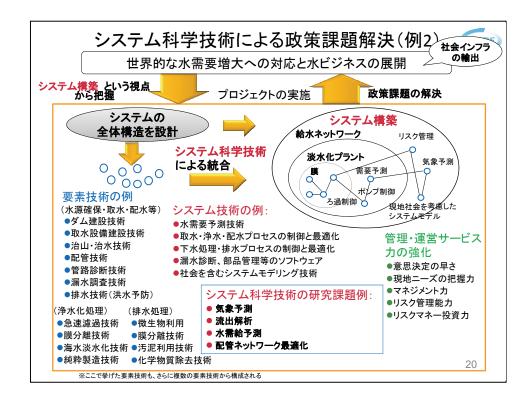
最終的なイメージとしてはこういうシステムを構築する。一つ一つの丸は、ベースになるそれぞ れの要素技術を示しています。電極・電池、太陽光パネル、スマートグリッド、いろいろなシステ ムの粒度がいろいろな側面で使われます。つまり、システムというのは一つの要素技術をとっても、 下位の要素技術から見ればそれ自体もまたシステムでして、入れ子構造になっております。そうい った入れ子構造のどの部分でどの技術がどういう形で生きるかをあらかじめ全体設計し、システム を構築する過程で、こういう図がつくられるはずです。



システム科学技術が適用されない場合にはどうなってしまうか。

要素技術は変わらず個々に開発されるでしょうが、システム構築がされていませんので、社会を含むシステムモデリングが行われない。したがって、社会・経済システムの挙動解明が十分にできない、需要予測が必要なときに実施できない。モデリングがされず、正確なものができないのではないかということです。それから、場合によっては電力を安定に供給できなくなるだろう、それから、エネルギー輸送・蓄積の最適化がなかなかされにくい、運用の最適化もされないし、リスクが把握できない。

悪いことばかり並べてしまいましたが、こういった恐れがあるということです。こういう問題は、 システム科学技術をベースにしっかりと取り組みがなされるべきであると思います。

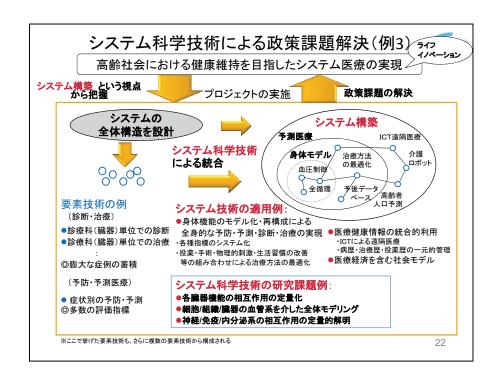


エネルギーと同様に、水の問題についてシステム科学技術を適用するとこうなります。

ここでも、 要素技術は CRDS の環境技術ダィレクトリより取り出しました。 これらをどういう形 で構造化していくか、そのために必要なシステム技術の例としては、水需要予測、取水・浄水・配 水プロセスの制御と最適化、例えば浄水するときの薬品の投下戦略というようなものも、今、非常 に複雑になっておりますけれども、全体システムとの接点が余りないようです。下水処理・排水プ ロセスの制御と最適化、あるいは漏水診断、どこかで水が漏れている場合、どこで漏れているかと いうようなことは、水圧を測定することによってアイデンティファイできるシステム技術もありま して、そういうものも使える。それから、社会を含むシステムモデリング。それから、システム科 学技術の研究課題としてはこういうものが生まれると。水関連では、こういうシステムが構築され るだろうとイメージが出てきます。膜があって、ろ過の制御があって淡水化プラント、さらに給水 ネットワークと、だんだんシステムが広がっていくわけですけれども、それぞれの要素技術をどう いう形で使ったらいいんだ、どういう形で位置づけたらいいかということがはっきりしていくので はないかということです。

システム科学技術が適用されないとどうなるか。例えば、現地社会を考慮したシステムモデリングが行われないのではないか。行われないわけではないにしても、非常に不十分ではないかという気がいたします。

これらは私どもが考えたことでして、ひょっとするとそんなことはちゃんとやっていると言われるかもしれません。実際に、部分的にはこういう検討がなされていることは我々も把握しております。ただし、ここで述べたいことは、システム設計の段階からきちんと最初からやろうとすべきであるということでございます。



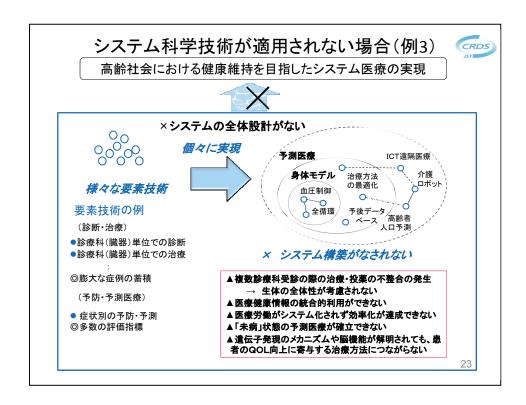
最後に、今度はライフイノベーションのほうで、システム医療ということを3つめの例として示 しました。

システム医療という言葉は、アメリカ等では非常に流行している言葉であります。システム・メ ディシンですね。基本的には、「身体機能のモデル化・再構成による全身的な予防・予測・診断・治 療の実現」ですとか、各種指標のシステム化、投薬・手術等々の組み合わせによる治療方法の最適 化といったことを示しています。

わかりやすくいいますと、我々は病気になると、どこか特定の診療科で診察を受けますね。外科 や内科、今や内科でもたくさんありますね。消化器、消化器の中でもさらに診療科別に分かれてい る場合があります。細分化の一途です。ところが歳をとるにつれ、体の節々が同時に悪くなってき て、いろいろな科にかからなければいけなくなる。そうすると、各科の間の治療に矛盾を来す。現 在でも投薬は既に矛盾を来している場合があって、一応、薬手帳とか、そういうものが出されて矛 盾を防ぐようになっています。

身体というのはシステムでして、お互いの機能の間の相互干渉が非常に強いわけです。消化器と 呼吸、循環器系と、これは非常に密接な関係がありますけれども、診療科が違うと他の科への影響、 他の機能がどうなるかというのは、ほとんど今のところ考慮されていない。また、投薬戦略もまた 大きく変わりつつありまして、例えば、がんを撲滅するのではなく、がん細胞数をある程度以内に 抑えさえすればいいという考え方で、薬品の投与戦略が考え直されつつあるというようなこともご ざいます。こういうことをもっと大々的にやる必要があるのではないかということで、この例をこ こで出しました。

各システム科学技術の研究課題としては、各臓器機能の相互作用の定量化、細胞・組織・臓器の 血管系を介した全体モデリング、さらに神経・免疫・内分泌系の相互作用の定量的解明、こういう 問題を考えることが求められていると思います。神経・免疫・内分泌系は、生体を守る三大防御シ から社会的な課題との接点、ここにシステム構築の一つのポイントがあると考えております。



もし、それがされていない場合はどうなるかということ、これは既にお話ししましたが、高齢化 社会の臨床医療体系に限界が来つつあるということの問題をカバーできないのではないかという気 がしております。

# 目次



- 中間報告書概要
- 第4期科学技術基本計画に関する有識者議 員との意見交換
- 今期後半の委員会の活動方針

24

ということで、ただ今ご説明したような資料をもとに総合科学技術会議有識者議員にご説明した わけですけれども、今後はこれをベースにして提言を検討していきたいと考えております。

まとめますと、まず要素技術の間の相補関係をはっきりさせるということが1つ。システム科学 技術だけでは何もできない。これも事実でありまして、システム科学技術と日本が強いと言われた 各要素技術の間の関係、位置づけをはっきりさせていきたいと考えております。もう1つは、イノ ベーションはシステムの構築として実現されるということ。そういうテーゼの上に立ったとき、シ ステム科学技術が何をなし得るかということを、具体例を使ってこれから構築していきたいと考え ております。



# 後期の活動方針

# 前半の成果を踏まえて、システム科学技術 を振興するための提言をまとめること

#### 検討事項

- ① 現代科学技術の総体的な把握にもとづくシステム科学技術の基本理念 システム科学の形成とその学問的課題
- ② イノベーションをシステム科学技術で下支えをするための具体的な方策 CSTPへの提言を下敷き
- ③ システム科学技術の基盤整備のための施策 人材育成、拠点形成、法整備

委員会運営の方針として議論を重視する

25

最後になりましたけれども、後半の委員会の活動方針についてです。

これから、今年中にあと数回この委員会を開いていきたいと思いますが、その中で何を議論する か、やりたいことは、前半の成果を踏まえて、システム科学技術を振興するための提言をまとめる ことです。検討事項としては、まず、現代科学技術の相対的な把握に基づくシステム科学技術の基 本理念。これをまずベースとしてやりたい。システム科学の形成とその学問的な課題の検討は、あ と何カ月かでできるような問題ではとてもないと思いますけれども、やはりここをしっかりと把握 したいと思います。CRDSの活動ではどの分野でも俯瞰図を作成して議論することになっておりま して、システム科学技術の領域俯瞰図というものをつくっていきたいと思います。

それから、イノベーションをシステム科学技術で下支えするための具体的な方策。

また、システム科学技術の基盤整備のための施策。人材育成、拠点形成あるいは法整備まで含め て考えていきたいと思います。ものづくり基盤技術振興基本法というような法律ができたのであれ ば、システム科学技術を整備するための法律ができてもいいのではないかと考えていることもあり まして、そういうことまで含めて議論をしていきたいと考えております。

外部からの講師のお話もまだお伺いしたいと思いますが、後半ではこのメンバーの方々の間のダ イアログを重視していきたいと思っております。アンケートでもそういうご意見をいただいており ますので、委員同士の方々のご見識を今まで以上に、これから聞かせていただいて、この提言をま とめていきたいと考えております。

#### <質疑応答>

#### 

この委員会でシステム科学技術といって問題にしているのは、結局どういうことを言っているの かもう少し明確にしていただきたい。要素技術もある見方では、ここで言っているようなシステム としてそれぞれにあるわけで、要素技術とそれから大きなシステムと言われているところの大小は わかりますけれども、我々の持っている数理計画法とかそういったものが、だんだんシステムの大 きさに対応できないというような単に粒度の話なのか、それとも、いわゆる要素技術を開発するの とは全く様相の違う新たな何か違うものがあるのか。

#### ○木村

システムの大きさではなく、課題の種類です。課題が、要素の問題ではなくシステムとして立ち あらわれているかどうか。例えば、部分最適と全体最適との矛盾というような問題、ステークホル ダー間の利害対立というような問題。そういった課題に対応するときは、システム科学技術が必要 です。

#### 〇出口

今、先生が言われたグローバルとローカルをどうやって折り合いをつけるかとかいう問題は、大 きさは違っても、ここで挙げている要素技術の例として挙げている、ここの一つ一つについても、 やっぱり同じような構造が一つ一つあるわけですよね。要素技術でも同じ課題がありますよと言わ れると、それで終わってしまう恐れはないでしょうか。

#### ○木村

私は、それはないと思います。本当の意味で、ステークホルダー間、あるいは全体最適化と部分 最適化の間が矛盾を引き起こして、システムの課題として問題が鮮明にあらわれているケースは結 構あると思います。要素として考えている限りは出てこない課題ですね。例えば、ネットワークの 問題であるとか、ある一部分をよくしたら今度は別のところが悪くなってしまったとか、堂々めぐ りを起こしてしまったとか、ここの部分を変えると全体がどうなるかわからなくなってしまったと かいうようなことですね。

それはどのレベルでもあると言われてしまうと、確かにそのとおりだと思いますけれども、それ がどれぐらい大きいかやシリアスかという問題で、やはりシステム科学技術の課題というのがおの ずから浮かび上がってくると思いますが、いかがでしょうか。

#### ○桑原

システム技術とは何だということを議論するときには、入れ子構造、規模論が出るようなことに しないほうがいいと思いますね。要素技術が成り立っている中にも、十二分のシステム技術が入っ ているわけだから。システム技術というのを定義しようとしたら、要素技術の中にあるシステム技 術も同列に扱わないとおかしくなりますよ。よくわからなくなってしまう。

#### ○木村

今の説明では、システムと要素を絶対的に分けているわけではなく、すべて相対的なものですね。 例えば、エネルギーマネジメントシステムの実現というのは非常に大きな課題ですよね。そういう 粒度の上で考えたときに、これらは要素技術として考えるということですね。別の何かをやる場合 には、また全然別のシステム技術と要素技術の考え方がでてきます。

#### ○桑原

それをわかりやすく分けて考えないと駄目だと思います。システム技術、要素技術というのをよく定義をして話をしないと。

要素技術というのは、要素技術だと考えるから要素技術なんですよ。あるシステムを頭に描いたときに、もう要素技術として一つにまとめてしまおうという割り切りをしたものですよね。そういう要素技術軍団がいっぱいあって、だけれども、このままじゃなかなか有機的に結合できない。だからそこに何らかの考え、つまりシステム科学技術が必要とされて、一つのより大きなシステムが構築される。では、要素技術の中はどうなっているかというと、もっと物理現象的な基幹の技術があって、これをある目的の要素技術のためにいろんなほかのものも集めてやっている。これもまた大変立派なシステム技術なんですよ。新たに開発する要素技術もあっていいわけです。

#### ○木村

もちろんその通りです。この資料では、世の中一般で使われるレベルでの要素技術とシステム技術という意味で使っている程度です。

ホロンという概念がありますけれども、まさしくそれなんですよ。一つのシステムは、上を見ればより大きなシステムを構成する1要素だし、下を見ればより小さな要素によって構成されているシステムである、現代の技術は、もの凄い入れ子構造で形作られているという考え方です。ホロニックシステムという。

#### ○桑原

そういうことを言うとまたわからなってしまう。もっとも、これは僕らが結論を語れるほどに進歩していないので、まだ不十分な部分が残っていいとは思うんですけどね。だけれども、もう少し何か明確な定義をしておいたほうがいいと思います。

要素技術というのはわかっている要素技術と、これからあってほしい要素技術があるわけです。 それらを定義しておいて、どう結びつけるかというのがシステム技術であるといったら、どんなレ ベルでも、ああなるほどと下がっていけるんじゃないですか。

#### ○安岡

ある機能を実現するためにシステムがある。例えば新幹線は、早く着くという機能と安全に運ぶという機能。他にもあるかもしれませんが。機能をだんだん分解していったときに、ある要素技術は今ある既存のもので使える、しかし、この機能は今のものでは使えないというふうな形で、トップダウン的に来る部分と、それが今あるものだったら、それを組み上げていく、要素技術をボトム

アップ的に組み上げていく。この機能だけはやっぱりどうしても今できないので、それは開発しな ければいけないというところに行き着くわけですよね。その辺、全体を見るという目が多分、シス テム科学技術の役割だろうという気がします。一番下にブレークダウンしたときに要素技術になる かもしれませんけれども、あくまでも要素技術もある一つの機能をあらわすもので、その機能はま たその下の機能を組み上げなければできないものもありますから。

#### ○桑原

「要素」と言わないで、何か別の言葉にしたほうがいいかもしれませんね。構成とか。

最後に、第4期の基本計画の草案に関してですが、III章の5、「課題解決型研究開発の共通基盤を支 える」に付け加えるべきだとコメントしていますね。それだとシステム科学技術というのが研究開 発の共通基盤を支える技術になってしまいますが、それより上の概念ですよね。反対する人もいる かもしれないけれども、個別の研究開発よりも上の概念としてとらえていかないと、システム技術 というのは市民権を得られないと思いますね。

#### 3.2 佐藤フェローご講演記録

## 1960年代の日本のシステム技術

- 新幹線と汎用コンピューター
- I. 国鉄と東海道新幹線
- II. 電電公社とDIPS

2010年8月26日 JST/CRDS 佐藤靖

私は現在、CRDS のほうで政策分析の仕事を主にやっておりますけれども、以前、新幹線の歴史 や汎用コンピュータの歴史を調べたことがありまして、本日、その内容についてお話ししたいと思 います。

## I. 国鉄と東海道新幹線

## 1.1 東海道新幹線計画 略年表

十河信二、国鉄総裁就任 1955年5月20日 島秀雄、国鉄技師長就任 12月 1日 1956年5月10日 国鉄、東海道線増強調査会を設置 東海道線増強調査会、総裁に報告 1957年6月25日 運輸省、国鉄幹線調査会設置 8月30日 幹線調査会、閣議に報告 1958年7月 9日 起工式 1959年4月20日 1961年5月 2日 8000万ドルの世銀借款契約調印 1963年5月19日 十河総裁退任(24日、島技師長辞任) 1964年10月1日 開業

まず、国鉄と東海道新幹線という歴史の話ですけれども、最初に略年表をご説明したいと思いま す。大体、このようになっております。1950年代に既に東海道線の輸送事業が非常に逼迫していた というものがあって、いかに輸送の容量を増強するかということが問題になっていたました。当時 は複々線化といって、従来あった線を2倍の容量にふやすということが言われていましたが、十河 信二という熱血総裁が 1955 年に就任しまして、彼の強力な指導のもと、東海道新幹線計画が進め

られたということです。十河さんは大ベテランで、就任当初の時点で 71 歳だったということなの です。その十河さんが引っ張ってきたのが技術師の非常にベテランの島秀雄さんという方です。島 さんは 12 月に就任しています。

それで、1956年に東海道線をいかに増強するかという調査会が設置されまして、これは十河さん が新幹線をつくる意図で設置したわけです。けれども、なかなか国鉄内の議論がまとまらなくて、 一応、総裁に報告が行われましたが、最終的には運輸省のほうで国鉄幹線調査会というのが設置さ れました。これは政府レベルの委員会ですけれども、そこで新幹線の基本的なスペックが決められ たということです。起工式が1959年、その後、世界銀行から借款を受けるというようなイベントも ありまして、1964年に開業に至るわけですけれども、その前に十河さんと島さんは辞任するという ことが起きております。

## 1.2 東海道新幹線とシステム

- 新幹線は現在からみると明らかに高度な技術システム
- ただし建設当時は、必ずしも技術システムとして明確に 意識されてはいなかった。
  - 「『システム』という言葉は、わかるような、わからないよう な内容を含みながらも、流行語のように各分野で使われ はじめている。」 - JREA 4:10 (1961年10月)、46頁。
- 当時、多くの技術者にとってシステムの概念は未だ明確 でなく、システム工学はほとんど知られていなかった。
- 東海道新幹線のシステム構築はどのようになされたか?

以上が大体、東海道新幹線の流れですけれども、本日、お話しするのは東海道新幹線をシステム として見たときに、どういうふうなことがわかるかということです。新幹線は現在から見ると、明 らかに非常に高度な洗練された技術システムであるわけですけれども、建設当時は当時のいろんな 記録を調べてみますと、必ずしも技術システムということで明確に意識されてはいなかったようで す。例えば当時の国鉄の機関誌である「JREA」という雑誌がありますが、そこに載せられている 技術者の文章では、1961年の時点で「"システム"という言葉は、わかるような、わからないよう な内容を含みながらも、流行語のように各分野で使われはじめている」、こういう状況だったようで す。ですから、当時、国鉄内の多くの技術者にとってシステムの概念というのはいまだ明確ではな くて、システム工学などというものはほとんど知られていなかったという状況だったようです。

では、そういう状況で東海道新幹線の巨大なシステム構築はどのようになされたかということを、 本日、お話ししたいと思います。ですが、その前にシステムに関連するさまざまな概念が国鉄でど のように受容されていったかという過程を少し振り返ってみたいと思います。

## 2. 1 国鉄におけるOR

- オペレーションズ・リサーチ(OR) ≒システム運用に関する科学的分析 第二次世界大戦前のイギリスで生まれ、戦時中にレー ダーシステムの運用などに応用された。
- ORは1950年代半ば、国鉄に導入 1960年には「ORセンター」も設置 1960年代には、操車場業務を中心にORの応用が大 いに研究された。
- しかし実際の業務に対する影響は小さかった。 「鉄道に関するOR研究発表会」も1970年に中断

まず、オペレーションズ・リサーチですけれども、国鉄はこういうオペレーションズ・リサーチ とか、新しい概念を海外から導入することに関しては、日本でいち早く飛びつく集団でして、戦前 から陸海軍に続く日本で最優秀の技術者軍団だったわけです。そこで、オペレーションズ・リサー チも非常に早く導入を試みました。OR とはシステム運用に関する科学的分析で、システムの構築 というよりは運用に関する合理的な手法の開発というようなことだと理解していますけれども、第 二次世界大戦前のイギリスで生まれたと。戦時中にはレーダーシステムの運用であるとか、あるい はドイツのUボートの迎撃なんかに応用されたわけです。

アメリカにも導入されて、国鉄には1950年代半ばに導入されてきたわけです。それで、それを盛 り上げようということで、1960年にはORセンターなんていうのも国鉄内に設置されまして、1960 年代には操車場の業務を中心にORの応用が大いに研究されました。ところが実際の業務に対する影 響ということになると非常に小さかったようです。盛り下がってしまったということですね。鉄道 に関するOR研究会というのもありましたが、それも1970年に中断されています。

- 一 国鉄におけるOR受容の限界
- 「そもそも、ORが基本的に企業の中に素直に受け入れ られ難い要因をつきつめてみると、企業内の問題は、 現体制のミスから生じたものか、いまの体制では処理 しきれなくなったことからおこっていて、ORがこれを的 確に指摘することは、ズバリ体制批判に連なるという点 にある。・・・

組織の中で本気になってORを実行しようとすれば人 間的に大変な努力が必要である。」

> ー横山勝義「ORと私」『オペレーションズ・リサーチ』 26:2(1981年2月)、2-3頁。

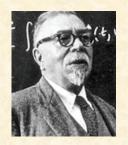
国鉄で組織的に OR がなぜ盛り上がらなかったかということですが、当時、OR の導入に中心的 な役割を果たした横山さんという方が次のように言っています。「そもそも、OR は基本的に企業の 中に素直に受け入れられ難い要因をつきつめてみると、企業内の問題は、現体制のミスから生じた ものか、いまの体制では処理しきれなくなったことからおこっていって、OR がこれを的確に指摘 することは、スバリ体制批判に連なるという点にある」「組織の中で本気になって OR を実行しよう とすれば人間的に大変な努力が必要で」。これは担当者の主観的な発言ですから、そのまま受け取る のはちょっと不適切かもしれませんが、非常に組織上の問題があったということです。

## 2.2 サイバネティクス

- サイバネティクス
  - =「動物と機械における制御と通信」 の学問

- Norbert Wiener, 1948.

=フィードバック機構を有する、有機・ 無機のシステムの分析



サイバネティクスは、システムの厳密な数学的最適化を 追求せず、有機的・分散的なシステムのとらえ方を重視

OR の次はサイバネティクスですけれども、サイバネティクスという概念は最近では余り使いま せんが、Norbert Wienerが 1948年に提唱した概念です。Norbert Wiener 自身は動物と機械にお ける制御と通信の学問というふうに定義しています。もう少しかみ砕いて言うと、多分、フィード バック機構を有する有機、無機のシステムの分析というふうに言えるかと思いまして、特徴として は、サイバネティクスというのはシステムの厳密な数学的最適化を追求するのではなくて、有機的・ 分散的なシステムのとらえ方を重視する考え方だったということです。

- 国鉄におけるサイバネティクス
  - 1950年代半ば、国鉄に導入
  - 有識者を集めた電子技術調査委員会による推進
  - 鉄道サイバネティクスに関する国際シンポジウム (第1回1963年、パリ)
    - 日本鉄道サイバネティクス協議会も設立
- 電子技術調査委員会は、「システム・アナリシス」も推進
- → 国鉄内でコンピュータや電子技術、システム工学に関す る認知を高めたが、冷めた見方も(根強い経験主義)

サイバネティクスは 1970 年代ぐらいになると、概念はわかったけれども、余り学問的に発展し ないということでアーティフィシャルインテリジェンスとか、そういう分野に移行していった、そ れに伴って衰退した学問ですけれども、国鉄では、しかしサイバネティクスが海外で非常に盛り上 がっているということで、やっぱりいち早く 1950 年代半ばに導入しました。有識者を集めた電子 技術調査委員会というのがありましたが、こちらで推進を図ったと。

ただ、盛り上がっていったのは日本の国鉄だけではなくて、国際的にも鉄道サイバネティクスに 関する国際シンポジウムというのが開かれたりして、これは毎年、その後から開かれていくわけで すけれども、鉄道分野においてサイバネティクスに対する期待というのは世界的に高かったようで す。なぜかというと、鉄道はやっぱり分散的なシステムの側面があって、生物を比喩としてとらえ るサイバネティクスの考え方に、非常に直感的にしっくりしたというところがあるんだと思うので すが、日本でも日本鉄道サイバネティクス協議会というのが設立されました。ただ、電子技術調査 委員会が推進したといいます。実際にやっていたのはサイバネティクスという概念のもとに、電子 技術やコンピュータの導入を進めようということです、それが実態です。

ですから、この委員会のおかげでいろいろな電子技術が国鉄の中で普及していったわけですけれ ども、その際に強調したのは、システムアナリシスというのを国鉄内でやろうということです。シ ステムアナリシスというのはちょっと変な言葉で、アメリカなんかだとシステムズアナリシスとい うわけです。システムアナリシス、これで何をやったかというと、国鉄内にあるもろもろの業務に ついてすべてフローチャートに分解して、その構造をつかもうという、そういう運動です。

国鉄内部でいろんな業務がありますけれども、それぞれで担当していた部署が、こんなのはもう 面倒くさくて、今までのままでいいじゃないかということで、ただ、そういう指示が来たので、仕 方ないのでフローチャートでわざわざ自分の業務を分解して表現してみたのですけれども、実際に それでフローチャートをもとに何か業務が改善したかというと、そういうふうにも言えないのです けれども、ただ、電子技術調査委員会の活動のおかげで、国鉄内でコンピュータや電子技術、シス テム工学に関する認知が高まったということはあるようです。ただ、国鉄は経験主義、経験に基づ く技術というのが一番重要だという根強い考え方がありまして、こういう新しい動きには冷めた見 方もありました。

## 3.1 新幹線のシステム構築

- 国鉄においては、1960年代以降サイバネティクスの理 念やシステム工学の考え方が興隆
- だが新幹線は、時期的にその前に計画・建設

#### ☆ システム工学

→ 日本では、アメリカのアポロ計画の成功(1969年)後 に一躍注目を浴びるようになった。

(科学技術庁「システム工学の現状と展望」(1976年))

- 中央集権的組織
- コスト・スケジュール管理
- ・ システムの合理的最適化

さて、では、いよいよ東海道新幹線のシステム構築の話に入りたいと思いますけれども、これま で申し上げてきたように、国鉄においては 1960 年代以降、サイバネティクスの理念やシステム工 学の考え方が興隆してきました。ただ、時期的に見ると新幹線は明らかにその前に計画建設されて います。ですから、アメリカ流のシステム工学が新幹線に適用されたというのは誤りです。それは 時期的にあり得ないということです。

ところで、システム工学という言葉、これは私も長年、歴史研究をシステム工学に関してやって きたのですけれども、非常に難しい、あいまいな概念だということはずっと思ってきたところなん です。日本ではやっぱりアメリカのアポロ計画の成功以降に一躍注目を浴びるようになったという ことで、新幹線のころはほとんど知られていなかった。一部、1957年に出た教科書みたいなのがあ ります。それを導入していろいろ勉強した人がいますが、一般には注目を浴びていなかったようで す。ただ、1970年代になって例えば科学技術庁が「システム工学の現状と展望」なんていう本を編 集したりするなど、非常に注目が高まったわけです。

システム工学の概念はあいまいだとはいえ、基盤となる考え方があるような気が私はしていまし て、若干、古めの考え方かもしれませんが、中央集権的な組織で巨大システムを構築、コストとス ケジュールの管理を徹底する、システムを合理的に最適化するという、このぐらいの根本的な考え 方はあるかなというふうに思っています。

## 3.2 建設基準の策定

- 新幹線建設基準
  - 軌間、最高速度、最大勾配、最小半径、レール重量、 軸重、電圧、周波数•••
- 軌間については、当時の国鉄総裁十河信二のイニシア チブにより広軌(1,435m)に決定
- 東海道新幹線建設基準調査委員会(1958-1961年)
  - 厳密な最適化というよりは、大雑把な検討 (戦前の弾丸列車計画を参考にしつつ)

さて、それでは新幹線のシステム構築において一番需要だったのは、やはり新幹線のベーシック なスペックを決めるということです。スペックといいますか、基本的なパラメーターにどういうも のがあったかというと、まず、軌間、まず、レールの間の間隔です。それから、最高速度、最大勾 配、最小半径、レール重量、軸重、軸重というのは車両の重さを軸の数で割った重さですけれども、 電圧、周波数、こういった基本的なパラメーターを決めなければいけない。これはすべて相互に関 連していますから、まさにこれこそシステムをつくるという作業なわけです。

まず、軌間については当時の十河総裁のイニシアチブにより広軌に決まります。ご存じのように 日本では広軌ではなくて狭軌、1.067ミリだったと思いますけれども、それが一般に採用されていま すが、広軌でつくりたいという非常に強い意志があったので広軌に決まったと。それ以外の基準に ついては、この委員会で議論されました。全体的に見ると、議事録なんかを見ると厳密な最適化を 目指していたというよりは、やはり大ざっぱな検討がなされていたというべきかと思います。この 際には戦前、計画されていた弾丸列車計画というのがありますが、それを参考にしつつ、検討して いくと。弾丸列車計画というのは東京から大阪を通って下関、そして将来的には韓国、それから北 京まで、もうちょっと先までつなぐという非常に大胆な計画だったわけですけれども、途中で挫折 したわけです。

具体的な建設基準、スペックの決定過程をちょっと見ていきたいのですが、例えばレールの重量に関してはどうかといいますと、右側のグラフというか、図がありまして、ここでは資本費と補修費の間のトレードオフによって最適なところを求めようというような、そういう意図が見られます。ただ、こういうふうに厳密にというか、こういう合理的な分析を行ってレールの重さを決めたかというと、実際にはそうではなかったということが事実のようです。

実際には、技術的な観点から見ると、どう考えても1メートル当たり60キログラムか70キログラムのレールの重さが必要だったと。どう考えても、それが技術的には補修費を低減する観点から見ると合理的だったのですが、とにかくその場の予算が足りないという理由1点で、53.3キログラムに決まってしまったというのが実態のようです。同時に、先ほどちょっと言いました世界銀行からお金を借りる際に、発展途上国向けの融資ですから余りぜいたくなスペックを持っているとだめだということ、そういうこともあって、53.3キログラムに決まったという経緯もあるみたいです。ですから、何かシステム構築でかなり非常に重要なレールの重量というのが、そういう単純な予算あるいは世銀への配慮ということから決められた。

- 建設規準(軸重)
  - 経験知の重視
  - 「軸重についても、いままでの経験から、皆で集まって 16t でだいたいおさまるなあ、というように最初大雑把 に見当をつけてやってみた。極端なことを言えば勘だ。 ···ただしあとになって、16t に収まるよう苦労しなけれ ばならなかった。」

—石澤應彦 インタビュー(2006. 12. 21)

では、もう一つの極めて中心的なスペックである軸重に関してはどうだったかといいますと、や はり経験知の重視ということが見られたようです。つまり、合理的にすべてのパラメーターを比較 して算出したというよりも経験から、この石澤應彦という人は当時の車両設計の責任者ですが、「軸 重についても、いままでの経験から、皆で集まって 16t でだいたいおさまるなあ、というように最 初大ざっぱに見当をつけてやってみた。極端なことを言えば勘だ」「ただしあとになって、16t に収 まるよう苦労しなければならなかった」というふうなことを言っています。

## 3.3 システム統合と「信頼」

- 「各系統の者皆がそれぞれ集まって、信頼をもって(各 自の検討結果を)合わせて、『このくらいでやろうや』と いうことになった。

目の子をたてるとしても、かけひきばかりやって『俺の ところ余裕をとっておこう』というようなことをしていては できない。」

—石澤應彦 インタビュー(2006, 12, 21)

こういうふうに、かなり大ざっぱにスペックが決められていったようですけれども、その際に、 そうであっても新幹線という極めて信頼性が高いシステムをまとめる上で重要なものは、組織の中 の信頼だったというのをかなり多くの人が言っていまして、例えば「各系統の者皆がそれぞれ集ま って、信頼をもって合わせて、『このぐらいでやろうや』ということになった。目の子をたてるとし ても、駆け引きばかりやって『俺のところ余裕をとっておこう』というようなことをしていてはで きないし

ちょっとこれは解説したいのですが、国鉄は技術陣が4つの分野に分かれていまして、非常にセク ショナリズムになっているわけですけれども、電気、車両、土木、それから運転というか、列車の 運行、その4つに技術の分野が分かれていまして、それはもう完全に完結していました。最近は少し もうちょっと緩いのかもしれませんけれども、例えば車両の分野でいえば車両分野でも人事のキャ リアパスが決まっていて、退職後の面倒を見るし、葬式の面倒も見ます。そういう世界だったわけ で、セクショナリズムが非常に強かったわけです。だけれども、結局、セクショナリズムは強いけ れども、各系統の者、皆が集まって、信頼をやはり持って挑戦する必要がある。駆け引きはなしと。 車両の人にとってみれば、当然、自分に有利なことを言ってサバを読みたいというところがあった と思うのですが、そういうことはないという信頼関係が一番重要だったというふうに言っています。

## 3.4 新幹線建設の組織

- 新幹線総局 独立した権限を持つ組織
- その内部では、セクショナリズムのデメリットが克服され ていた
  - 各系統から集まった数百人の30代半ばの若い技術 者たちが、一つの大部屋で雑居
  - 綿密なコミュニケーション
- セクショナリズムのメリットは残っていた
- 新幹線の統合的開発を支えていたのは、新旧の組織 形態の融合

当時の組織を見てみますと、本来は電気局とか運転局とか、そういうセクションに応じた局があ ったのですけれども、それとは別に新幹線総局という独立した権限を持つ組織がつくられまして、 その内部では各系統から集まった数百人の30代半ばの若い技術者たちが一つの大部屋で雑居して、 非常に綿密なコミュニケーションを行いながらやっていたので、セクショナリズムのデメリットは 克服されていったとされています。

一方、セクショナリズムのメリットというのもあったようで、例えば電気系統と車両系統が上に 引く架線のへこみぐあいについて調整したと、50ミリ以内に絶対おさめてくれと、そのかわり、こ っちは非常にいいパンタグラフをつくるみたいに、そういう合意をしたときに、それぞれのセクシ ョンの意地にかけても、沽券にかけても約束を守るみたいな、そういうところがあったようです。 したがって、セクションの利益とプライドというのですかね、そういうものを守るためには死力で 頑張るみたいな、そういうところがあったみたいでして、メリットもあったと。こういうことを考 えますと、新幹線の統合的開発を支えていたのは、新旧の組織形態の融合だったというふうに言え るかと思います。

## 4. 島秀雄のシステム工学観

- ・ 当時の技師長 島秀雄のシステム工学 に対する認識
  - 「ごくあたりまえのこと」 一森垣常夫編『源流を求めて』、12頁。
  - 「結局、行き届いてものを考えるとい うことにつきるわけですよ。」

一「技術と人間」『運輸と経済』(1973年8月)



- 島は、自分はシステム工学を意識することなく、経験的 にマスターしていたと考えていた
- 実際には、国鉄のシステムの組み上げ方は、システム 工学とは異なるやり方だった

さて、最後に紹介したいのは、当時、新幹線開発を技術面で一手にマネジメントしていた島秀雄 のシステム工学観なのですが、彼は新幹線の仕事をなし遂げた後、1969年から宇宙開発事業団の理 事長になって宇宙開発の仕事もやって、1990年ぐらいには文化勲章とか、それから、これは1970 年ごろにイギリスでジェームズ・ワットメダルというのをもらっているときの写真ですけれども、 彼はシステム工学に関してどういうふうにとらえていたか。

システム工学は1970年以降、非常に日本でもはやってきたわけですけれども、彼は冷めた見方を していまして、ごく当たり前のことで、結局、システム工学といっても、「行き届いてものを考える ということにつきるわけですよ」というふうに言っています。彼は、自分はシステム工学を意識す ることなく、経験的にマスターしていたと考えていたようです。ですから、実際には国鉄のシステ ムの組み上げ方というのは、アメリカ式のシステム工学とは異なるやり方で行われていたと言えそ うです。

## 5. 国鉄におけるシステム工学 まとめ

- 国鉄は、ORやサイバネティクス、システム工学といった 新しい概念を素早く導入したが、その実践は遅れた。
- 東海道新幹線建設時には、米国流のシステム工学は ほとんど実践されなかった。
- むしろ、新幹線のシステム構築の際の原則は、
  - セクショナリズムへの依存とその弊害の除去
  - 経験知重視、技術者間の信頼に立脚
- ただし、MARSやATC・CTCのようなシステムは東海道 新幹線に導入された

さて、まとめですけれども、国鉄は OR やサイバネティクス、システム工学といった新しい概念 を素早く導入したけれども、組織内部での実践はおくれた。東海道新幹線建設時には、米国流のシ ステム工学はほとんど実践されていなかったと。むしろ、新幹線のシステム構築の際の原則という のは、旧来型のセクショナリズムへの依存と同時に弊害の除去と、それから、経験知の重視と技術 者間の信頼に立脚していたということが言えるかと思います。

ただ、ちょっと申し上げたいのは、MARSと呼ばれる自動座席予約システム、日本で初めてこう いうコンピュータシステムを導入したわけですけれども、こういうものや、それから、ATC、オー トマチック・トレイン・コントロールというもので、2つの新幹線の車両の間が余り近づかないよう に、自動的に速度を調整するシステムであるとか、CTC、セントラライズド・トラフィック・コン トロール、これは中央制御室のようなところに車両の運行の情報を全部集めて管理するというもの ですが、そういうかなり世界的にも先進的な電子技術システム、コンピュータシステムが導入され ていったということが挙げられるかと思います。ただ、これは新幹線全体のシステムから見ると、 それほど大きい要素ではないといいますか、先進的なシステムではあるけれども、それ以前に新幹 線というシステム自体をまとめるのが非常に大変だったわけです。

## II. 電電公社とDIPS

## 1. 1 電電公社とDIPS

- DIPS (Dendenkosha Information Processing System) =1960年代末から1990年代にかけて電電公社が開発 したデータ通信サービス用の汎用コンピュータ
- DIPS-0 = 実験的なプロジェクト(1967年~)
- DIPS-1 = 初の実用システム(1968年研究開発開始、 1973年末商用サービス開始) 予算規模= 250億円(1968年~1973年)
- ・ 以降、おおむね5年のサイクルでシステムを更改・高性 能化
- ・ 1992年に開発完了、2002年に運用完了

鉄道のほうはこれで終わりでして、電電公社と DIPS のほうに移りたいと思います。DIPS とい うのは Dendenkosha Information Processing System ということで、1960 年代末から 1990 年代 にかけて電電公社が開発したデータ通信サービス用の汎用コンピュータでした。初の実用システム は 1968 年から 73 年にかけて開発された DIPS-1 でして、5 年間で 250 億円の巨大プロジェクト でした。これは250億円するのですが、当時自民党あたりから電電公社のほうに業界をとにかく助 けてやって、アメリカにコンピュータ開発で対抗できるようにしてやってくれというような要望も あって、本当は25億円で考えていたが、10倍にしろと言われて250億円になったというような逸 話もあります。

以降、おおむね5年のサイクルでシステムをバージョンアップして高性能化していったと。最近は 民間の高性能機が出てきたので、こういうDIPSは要らなくなったので、開発が完了しているという ものです。ですから、日本のコンピュータ開発というと、当時の通産省の非常に派手な政策が有名 なわけですけれども、電電公社も技術面で非常に一役買っていたということです。

## 1. 2 DIPS開発体制

- DIPS開発の体制
  - 事業部局、電気通信研究所(通研) - 電電公社
  - メーカー 日本電気、日立製作所、富士通 (通研と上記メーカーとの共同研究開発)
  - ハードウェアの物理設計は各メーカーの創意工夫を 重視
    - →競争環境の形成
  - ソフトウェアは各社が分担して開発
- · 沖電気は上記各メーカーと同様、電電ファミリーとして電 話交換機等を製造していたが、DIPS計画には関わらず

開発体制は、電電公社は内局といいますか、事業部局とそれから電気通信研究所、メーカーは日 本電気、日立製作所、富士通の3社、これからの間の共同研究開発が行われました。ハードウエア に関しては各メーカーの創意工夫を重視して、それぞれのメーカーにやってもらうとか、例えば NEC がいいメモリーを持っていった場合は、それだけ NEC のパフォーマンスが上がったり、納期 が早まったりするので、競争環境ができたというのがあります。ただ、NEC のいいメモリーを富 士通や日立に提供させたなんていう、そういう事例もありまして、競争と協調がなされていたと。

## 1. 3 DIPS-1プロジェクトのリーダー

#### · 戸田巖

- 東京大学工学部修士課程終了
- 1958年電電公社入社
- 1964年UCバークレーに留学
- DIPS-1計画の立ち上げを担当
- 1988年NTT常務·研究開発本部 長



一方、ソフトウェアに関しては、これを今日、ちょっともう少しお話ししたいのですけれども、 各社が分担して一つのシステムを開発したと。あるところは入出力システムを設計して、あるとこ ろはファイルシステムを設計して、最後に合体するというようなことです。沖電気はこれには加わ らなかったということで、この DIPS-1 プロジェクトのリーダーは何といっても戸田巖という人 物です。東大工学部を修了した後、電電公社に入りまして、UCバークレーに1年、留学した後、 DIPS-1の立ち上げを担当します。最終的には技術部門トップである常務・研究開発本部長に就任 されています。

## 2. DIPS-1のハードウェア開発

- 三方式を組み合わせて高性能オンラインシステムを実現
  - ページング方式
  - ローカルメモリ方式(キャッシュメモリ方式)
  - マルチプロセッサ方式



DIPS-1

ハードウエア開発に関して、ここでは当時としては世界のトップに並ぶほどの高性能オンライン システムだったということだけを申し上げておきます。

## 3. DIPS-1のソフトウェア開発

- · 150万ステップのオペレーティング・システム(OS)を含む 巨大なソフトウェア開発に開発努力の過半が割かれた
- ・ 通研とメーカーの技術者500名以上が共同で開発 →「作業標準」という文書を定めて、ソフトウェア開発の プロセスの標準化を図った
  - ソフトウェア開発をいくつかの工程に分割
  - 各工程の作業内容と手順を規定
  - 各工程の成果物として文書を作成してそのレビュー を独立の検査グループにより実施
- 日本におけるソフトウェア工学の普及を促進

ソフトウェア開発のほうですが、これが非常に難物でして、150万ステップのオペレーティング システムを含む巨大なソフトウェア開発に開発努力の大部分が割かれたということです。通研とメ

ーカーの技術者500名以上が共同で開発して、それぞれにシステム工学といいますか、非常に合理 的な開発手法を適用しました。注目すべきところは、作業標準という文書を定めて、ソフトウェア 開発のプロセスの標準化を図ったということです。ソフトウェア開発を8つの工程に分割し、それ にサブ分割をまたやったりしました。各工程の作業ラインと手順を規定する。その工程が終わると きには必ず成果物を残して、成果物は文書でもプログラムでもいいのですが、それに対しレビュー を行うわけです。そこでは、独立の検査グループによりレビューを行うという開発管理を非常に合 理化したということで、一般にソフトウェア工学と呼ばれている開発手法に非常に近いものがあり ます。

## 4. 日本におけるソフトウェア工学

- ソフトウェア工学とは
  - 基本的思想 = ソフトウェアの需要増大と大規模化 に対応するため、従来の職人芸的な技能に依存した 開発プロセスを標準化・機械化する
  - ソフトウェアを工業製品として捉え、その効率的な生 産のための組織や環境を追及する
- 日本はソフトウェア工学を早期に独立して実践
  - NATO科学委員会「ソフトウェア工学に関する会議」 開催は1968年

ソフトウェア工学というのは何かといいますと、1960年代後半から世界的に起こってきた考え方 ですけれども、考え方としてはソフトウェアの需要の増大と大規模化に対応するため、従来の職人 芸的な技能に依存した開発プロセスを標準化、機械化するという考え方です。ソフトウェアを工業 製品としてとらえ、その効率的な生産のための組織や環境を追及するものです。ですから、非常に システム工学の考え方と近いものであるわけですけれども、大規模で複雑なものをつくるために開 発環境を合理化するというものです。

それで、日本はソフトウェア工学に関しては早期に、そして独立して実践していたと見られます。 というのは、世界の動きをまねするのではなくて、戸田さんがかなりイニシアチブを発揮して、非 常に早期に独立して実践したそうです。先進国の間では、特にアメリカでIBMシステム360という大 きいコンピュータをつくったときに、ソフトウェアに困ったというのがあって、ソフトウェア危機 なんて呼ばれて、それに対応してNATOの科学委員会がソフトウェア工学に関する会議というのを 1968年に開催しています。日本では、もうこのころに作業標準をつくり始めていたわけですから、

NATOの動きとは独立にやっていたというふうに言えそうです。

## 5. 電電公社とソフトウェア工学 まとめ

- 電電公社は、戸田巖の強力なリーダーシップの下で、 DIPS-1の開発とソフトウェア工学の導入を進めた
- DIPS-1の開発では、メーカー間の競争と協調により信 頼性の高いシステムが完成した
- 電電公社におけるソフトウェア工学の導入は、早期に、 かつ海外の動向とは独立して行われた (ただし後には、構造化プログラミング等の技法が海外 から素早く導入された)

最後にソフトウェア工学のほうのまとめですけれども、電電公社は戸田巖の強力なリーダーシッ プのもとで、DIPS-1 の開発とソフトウェア工学の導入を進めた。DIPS-1 の開発では、メーカ 一間の競争と協調により信頼性の高いシステムが完成した。電電公社におけるソフトウェア工学の 導入は、早期に、かつ海外の動向とは独立して行われた。ただ、後には 1970 年代になると構造化 プログラミング等の技法が海外で開発されて、素早く導入していったということになります。 以上です。どうもありがとうございました。

#### <質疑応答>

#### ○前山

私自身はDIPS等の開発にはかかわらなかったのですが、隣の部隊がずっと開発していました。メーカーの立場からしますと、いわゆる最大のユーザーの電電公社というのがあったわけで、そういう意味で、財政面というのか、経営面で見て、つくったものは確実に原価以上のもので売れるという、そういう、いわゆるベンダーの育成策という面が一つありました。それから特にソフトの面ではいわゆる人材育成という観点、かなり大量の人間がここに専用にアサインされて、割と若い人たちが大半だと思いますが、そういう人たちに対しこういうソフト工学等をひっくるめて人材育成に役に立った。そういうことがプラス面の要素という観点で覚えています。ただ、実態は非常に大変で、こんなきれいな形ではなくて、死人が出そうなような話がたくさんあったというのが実態かと思っています。

それから、初版をつくった後の5年後との更改品の中で、システム全体がいわゆる各ベンダーの汎用品と一体化していくという努力を各ベンダーがやって、それによって経営的な面でさらにメリットを得られるような形に各ベンダーは努力されたというふうに思っています。そういう横から見たコメントです。

#### 〇丸山

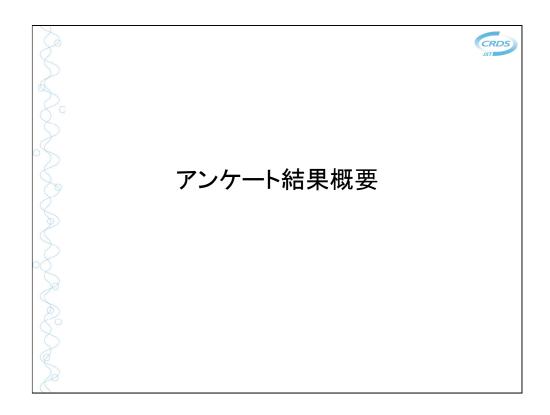
新幹線についてご質問したいのですけれども、軌間とか最高速度とか、そういうものを決めたというのは、今の言葉でいえばアーキテクチャーだと思いますが、それが最初の設計から50年たって、まだ生きていられるというのがすばらしいことだと思います。最初のアーキテクチャーの設計の際に、どういうふうにアーキテクチャーが進化(evolve)していくかということについて、議論があったかどうかということを少し、もしご存じだったらお聞かせいただきたい。最高速度が上がっていくとか、何年後にこれだけ上がっていくとか、そういうようなことを考えながらやったのかどうかということですが。

#### ○佐藤

実は、例えば最高速度に関していいますと、250キロという想定を最初にしていたようですけれども、世銀からの借金の話があって、210キロにしなければいけなかったという事情がまずありました。 したがって、ポテンシャルから見ればかなり上昇の余裕は見ていたということがあるようです。

それから、さっきレールの話をちょっとさせていただきましたけれども、結局、53.3キログラムになったのですけれども、これは当初の予算がなかったということで、ただ、10年後ぐらいに結局、60キロに全部取りかえています。ですから、技術者が言っていたことは間違いなく正しかったわけですけれども、したがって、将来の見通しがこのレールに関してはあったかというと、全くなかったということを言わざるを得ないかなというふうに思います。偶然というか、外部的な要因で決めて、結局、新幹線がもうかったので60キロにかえたという、そういうことがあります。

### 3.3 アンケート結果報告記録



第6回、委員会前半が終了しました後に、事務局より委員の皆様にアンケートをお願いいたしま した。ご回答いただいた内容について、この場でかいつまんで紹介いたしまして、共有させていた だければと思います。

## お願いしたアンケートの内容

- 1. 委員会前半に対してのご意見
- 2. 後半の活動案に対してのご意見
  - 各回のテーマ、委員会の進め方、議論の内容等 について
- 3. 新しいシステム科学、システム技術を用いて
  - どのような新しいシステムに挑戦すべきか
  - それがどのような社会的期待に応えられるか

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

2

お願いしたアンケートの内容ですが、委員会前半に対してのご意見と後半に対してのご意見、それから、今後、どのような新しいシステム科学、システム技術を用いて、どのような新しいシステムに挑戦すべきか、ということについてお伺いさせていただきました。

## 委員会前半に対してのご意見① 一進め方一



- とりあげるテーマは妥当であった。(2)
- 議論する時間が少なく、解決への糸口がほとんど見 えない(3)
- 参加者・講演者が偏っている。多様性を考慮すること を強く要望。
- システム技術が、製造業に近いものに偏っている。経 営や様々な社会システム、経済・金融システム、小 売・流通・物流など、幅広い分野でシステム技術の貢 献を議論すべき。
- メーリングリスト、Wikiのようなものを利用してはどうか。
- 講演の内容をネット上で公開してはどうか。

2010/8/26

第7回システム科学技術推准委員会

まず、前半に関してのご意見ですが、取り上げるテーマは妥当であったというご意見と、議論す る時間が非常に少ないという話と、解決の糸口が見えないということ、これは3名の委員の方から いただきました。あと、参加者、講演者が偏って多様性が少ないというご意見、システム技術につ いてですが、製造業のほうに偏ってしまっているのではないかというご意見で、もっと経営ですと か社会システム、経済・金融システムなど、もっと幅広い分野でシステム技術の貢献を議論してい くべきではなかったかというご意見がありました。あとは、メーリングリストや Wiki のようなも のの利用を図ってはどうかということと、講演の内容、正確な内容をもっとネットで公開していっ てはどうかというご意見をいただきました。

## 委員会前半に対してのご意見② 一対象範囲、目的が曖昧一



- 「新しいシステム科学、新しいシステム技術」とはある ものの狙いが曖昧。落とし所をどこにもっていこうとし ているのか?
- 「システム科学」や「システム思考」の実体が明らかになっていない。ぼやけたままである。
- システム技術の全体像を描き、その中のどこをやろうとしているのか明示しながら議論すべき。
  - 事前に各メンバーから、「システム技術をどう捉えているか、その中で 自分は何をしようと考えているか」の見解書を書いてもらったらどう か?
- システム科学技術に関する明確な定義を与えるととも に、この議論を通じ、システム科学技術の有用性や、 システム科学技術に対する期待などを明らかにしてい く必要がある。

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

続きまして、対象範囲と目的に関してですが、新しいシステム科学、システム技術とありますけ れども、そのねらいがあいまいであると、落としどころをどこに持っていこうとしているのか、よ くわからない。システム科学やシステム思考の実体が明らかになっていない、ぼやけているという ご意見。システム技術の全体像をかいて、その中のどこをやろうとしているのか、明示しながら議 論していくべきではないかと。そういったことを各メンバーがどうとらえて考えているか、ご意見 を伺ってはどうかというご指摘をいただきました。システム科学技術に関する明確な定義を与える とともに、この議論を通じ、システム科学技術の有用性やシステム科学技術に対する期待などを、 もっと明らかにしていく必要があるのではないかというご意見もいただいております。

## CRDS

## 後半の活動案に対してのご意見①

- 解決方策につながる議論に重点を移すべき。
- 各委員が持つ問題意識をもつと議論すべき。
  - 委員同士でパネル討論
  - 講演を減らす
- 技術力を取り戻すだけの議論では不十分。
  - 開発した技術のデファクトスタンダード獲得のためのスタ ンダーダイゼーションへの取り組みとシステム全体(ひと、 もの、コスト、構築速度)を見据えた構築力の実現につい ての議論も必要

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

後半をどうしていくべきかという点に関しては、もっと解決方策につながる議論に重点を移して いくべきだというご意見、議論が少ないという話として各委員が持つ問題意識をもっと議論してい くべきではないかというご意見。また、技術力を取り戻すというだけの議論では不十分で、もっと デファクトスタンダードの獲得ですとか、そういったものも見据えたシステムの構築力の実現につ いて議論もしていかないといけないというご意見もいただいております。



## 後半の活動案に対してのご意見②

- システム科学とは何か、その方法論と実効性、またシステム科学自体はどのように発展してきたか。
- 幅広い視点からシステムを構築する方法論を議論す る。どのようなアプローチをとると、システム科学技術の観点を考慮したことになるのか。
  - 結果として、サービス工学、人工物の環境問題などに広く 役立つシステム科学技術的方法論についての議論が可 能になると考える。
- 情報技術の発展があって初めて成り立つ新しいシス テム科学(オントロジー、仕様記述など。また、情報検索技術、データ 駆動型技術など、言語や思考法そのものへの技術的な革新)が、経 営、生産その他の現場でどう普及し、それらをどう進 展させるのか。

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

続きまして、後半、もっとこういうことを議論すべきということですが、システム科学とは何か、 その方法論と実効性、また、システム科学自体はどのように今まで発展してきたのかということを 議論するべきではないかというご意見、幅広い視点からシステム構築する方法論をもっと議論する、 どのようなアプローチをとるとシステム科学技術の観点を考慮したことになるのか、具体的にして いけないかというご意見をいただいております。また、情報技術の発展があって初めて成り立つ新 しいシステム科学が経営、生産その他の現場でどう普及し、どう進展させていくのかという物事も 議論していってはどうかというご意見をいただいております。



## お願いしたアンケートの内容

- 1. 委員会前半に対してのご意見
- 2. 後半の活動案に対してのご意見
  - 各回のテーマ、委員会の進め方、議論の内容等 について
- 3. 新しいシステム科学、システム技術を用いて
  - どのような新しいシステムに挑戦すべきか
  - それがどのような社会的期待に応えられるか

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

## やるべき新しいシステム(1) 一要件一



- 資源の乏しいわが国にとって、外貨を稼ぐため の売り物になること
- 国家国益の視点からは、GNPではなくGDPに貢 献するもの
- 領域横断的な問題であること
- 多彩な利害関係者のある問題であること
- ・ 喫緊の社会的課題(環境、安全、老齢化など)に 関連する問題であること
- システム科学的な技術の実装が容易になってい ることによる実効性について、検証できること

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

最後に、今後、どのような新しいシステムに挑戦すべきかについて、いただいた案を取りまとめ ました。

まず、具体的なシステムというより、そのシステムが備えるべき要件のようなこととして、資源 の乏しい我が国にとって外貨を稼ぐための売り物になること、国家国益の視点からはGNPではなく GDPに貢献するようなものであること、領域横断的な問題であること、多彩な利害関係者のある問 題であること、喫緊の社会課題に関連する問題であること、システム科学的な技術の実装が容易に なっていることによる実効性についても、検証できるようなものを対象とするべきではないかとい うご意見をいただいております。

## やるべき新しいシステム② 一具体的な対象ー



- これまでの製品を中心としたシステムではなく、市場・ユー ザ・地球環境などを含む幅広い視点から構築されたシステム
- 様々な社会システム(交通システム、エネルギーシステムなどの社会イン フラ)を、経済的価値や社会的価値などとリアルタイム(リアルタ イムに近い時定数)で関係づけるシステム
- 海外インフラ輸出を支援する「当該地域での未来社会予測」
- ▶ 社会システムをモデル化する技術(社会シミュレーションや、ス マートグリッドなどに代表される知的ネットワーク、集合知を用いた予測 技術、安定な金融モデルなど)
- ▶ 科学的、実証的な手法による社会の仕組みと働きのデザイ

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

具体的な対象となるシステムですが、まず、社会システムにかかわるものがあがっておりまして、 これまでの製品を中心としたシステムではなく、市場、ユーザー、地球環境などを含む、もっと幅 広い視点から構築されたシステムですとか、さまざまな社会システムを経済的価値や社会的価値な どとリアルタイムで関係づけるシステム、海外インフラ輸出を支援する当該地域での未来社会予測、 こういったものに必要となってくるのが技術なんですけれども、社会システムをモデル化する技術 や科学的、実証的な手法による社会の仕組みと働きのデザインといったようなものも、必要ではな いかというご意見をいただいております。

## やるべき新しいシステム③ 一具体的な対象ー



- 国のビジネスモデルを解くシステム
- イノベーションのためのサービスシステムの デザイン
  - サービス産業分野におけるシステム科学の果た す役割
- より早く、より安く、安全確実に物や情報を運 ぶシステム

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

## やるべき新しいシステム(4) 一具体的な対象ー



- 太陽光/熱並列発電システム(発電単価を大 幅に高めるシステム)⇒全世界に売れる ⇒CO。削減
- 海水淡水化での超低消費電力型を狙う(最 先端研究を協力にサポートする)
- ロボット産業の新規創出
- 測定器産業の新規創出
- ・ 超大規模プロジェクトから必要なシステムを 考える

2010/8/26

第7回システム科学技術推進委員会

続きまして、国のビジネスモデルを解くシステムですとか、あとはサービス関係、イノベーショ ンのためのサービスシステムのデザインや、あと、運輸、より早く、より安く、安全確実に物や情 報を運ぶシステムで、ここからはかなり具体的になってきますけれども、太陽光/熱並列発電シス テム、海水淡水化での超低消費電力型をねらうようなシステム、ロボット産業の新規創出、測定器 産業、こういったような具体的、超大規模プロジェクトを、具体的なプロジェクトが必要なシステ ムを考えていくようなことが必要ではないかというご意見をいただいております。 以上です。

## 3.4 総合討論記録

#### <事務局論点整理>

#### ○前田

それでは、委員の先生方の議論に入っていただきたいと思うのですが、その前にごく簡単ではご ざいますが、今後の進め方についてということで、論点を整理しておきたいと思います。

# システム科学技術推進委員会<br/> 今後の進め方についての議論

2010年8月26日 科学技術振興機構(JST) 研究開発戦略センター(CRDS)

1

## 議論の進め方

- 1. システム科学技術の現状についての認識を 共有する。
- 2. システム科学技術に関して明らかにすべき 項目は何か、アンケート結果も踏まえて確認 する。
- 3. 上で確認された、システム科学技術に関して 明らかにすべき項目について、幅広に議論 する。

まず、今日はシステム科学の現状ということについての認識を共有しようと思います。そして、 システム科学技術について何を明らかにすべきか、その項目は何かを、今、武内フェローのほうか ら紹介がありましたけれども、アンケート結果を踏まえて確認すると。さらに、これを踏まえてシ ステム科学技術に関して明らかにすべき項目について、ぜひ、幅広に議論をしていきたいと思いま す。

## 1. システム科学技術の現状

- 分野/領域としての構成が確立されていない。 =システム科学技術としての体系化は途上にある。
- •「社会的課題の解決」のために分野/領域の統合 化が必要である、という認識は広がりつつある。
- 統合化を実現する共通の手段として、システム科学 技術が重要であるという点も、一定の理解を持たれ ている。
- システム科学技術が"どのように課題解決につなが るのか"についての具体的な内容は、まだ十分には 検討されていない。

まず、システム科学技術は今、どうなんだろうということを今までこちらで検討してきたもので、 こういうことが言えるのではないかということを述べますと、恐らくこの分野は分野/領域として の構成というのが完全には確立されていない。つまり、システム科学技術というものの体系化は、 途上にあるのではないかということが言えると思います。先日、北澤理事長とシステム科学技術に ついてちょっとお話をしましたが、システム科学技術のテキストブックはあるのですかということ を聞かれて、それぞれの例えば制御ですとか、ITに関するものはあったとしても、システム科学技 術全体というものは、確かにないねというような話をいたしました。

それともう一つ、社会的課題の解決、これが今、科学技術政策の中では、第一段階にきます。そ のために分野/領域の統合化が必要であるというこの認識、これもほとんど定着しつつあると思い ます。そして、そのときに統合化を実現する共通の手段として、システム科学技術というふうにく くられる何かが非常に大事であるという点も、これも一定の理解を持たれつつあります。そして、 システム科学技術がどのように課題解決につながるかについての具体的な内容は、しかし、まだ十 分には検討されていないということで、この辺がこれから議論をしていかなければいけないところ ではないかと言うことができます。

## 2. 明らかにすべき項目

- システム科学技術の全体像/定義/実体
- システム科学技術が適用できる社会的課題 は何か
- 社会的課題がシステム構築を通じてどのよう に解決されるのか
  - システム科学技術がどのような有効性を発揮す るか

次に、何を明らかにしなければいけないかというと、アンケートにもありましたように、システ ム科学技術の全体像、定義、実体というような言葉で委員の先生からいただいて、こういった定義 的なもの、そして、もう一つはシステム科学技術が適用できるような社会的課題は何かということ を見出していくこと、そして、この社会的課題がシステム構築を通じてどのように解決されるのか ということを明らかにしていかなければいけない。そして、この中でシステム科学技術というもの が、どういう有効性を発揮するのかということとも言えると思います。

# 3. 議論の項目

- ① システム科学技術が適用できる社会的課題 は何か
  - 現在解決されていないシステム課題はなにか
- ② 社会的課題がシステム構築を通じてどのよ うに解決されるのか
  - システム科学技術がどのような有効性を発揮す
- ③システム科学技術の全体像/定義/実体

そして、今日の議論ですが、ちょっと順番が変わりました。恐らくシステム科学技術の全体像か ら議論するのではなくて、まず、システム科学技術というふうにして考えられるものが適用できる 社会的課題は何かを考えてみてはどうか。つまり、現在、解決されていないシステム科学技術が適 用できるような課題は何かということを議論すると。そして、社会的課題がシステム構築を通じて、 どのように解決されるのかということを2番目にやるということで、今日は恐らく1番目と2番目 の途中ぐらいまでではないかと思います。そして、先ほどシステム技術と要素技術の入れ子関係の 話がありましたけれども、恐らくあれは一つの見方として、社会的課題の大きさが決まると、そこ のあたりの説明というのもしやすくなるのではないかなと考えられます。

# 議論のために(補足)

- システム科学技術(モデル化、モジュール化、ネット ワーク解析、最適化、制御等)は、様々な分野領域 の中で利用されている。
- これらを明示的に取り出して「システム科学技術」と いう領域として体系化するには、システム構築によ り社会的課題を解決する具体的なプロジェクトの中 で、システム科学技術が果たしている役割をとらえ る必要がある。
- その結果として、システム科学技術が体系化される。

そして、議論のための補足ですけれども、これは釈迦に説法のようなところがございますが、シ ステム科学技術、例えばここに挙げてあるようなものというのは、さまざまな分野や領域の中で利 用されています。そして、これらを明示的に取り出して、システム科学技術という領域として体系 化するには、システム構築により社会的課題を解決する具体的なプロジェクトの中で、システム科 学技術というものが果たしている役割をとらえていく必要があるだろうと。その結果として、シス テム科学技術が体系化されるのではないかというふうに考えまして、それで先ほどのような順番で、 まず課題とシステム技術、課題に対するシステム科学技術による解決というようなことを、今日、 議論をしたらどうかというふうなことで申し上げております。

一応、問題提起のほうは以上になります。

ということで、自由にご意見をお出しいただければと、こういったことも踏まえていただきつつ、 いろいろとご意見をいただければと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

# <質疑応答>

# ○桑原

一つ、提案があります。ただ議論しているだけでは、事というのは普通は進まないですよね。それで、日本の成長戦略ですとか、あるいは日本のより広い意味での社会的な課題ですとか、いろいろある中から、2つか3つ何を取り上げるかよく検討して、予算化するというのを一つの大きなテーマにしたらどうでしょうか。関連府省あるいは政治にバックアップしてもらって、例えば振興調整費の予算の中でやるのがよいのではないかと思いますけれども。

5年では時間がかかりすぎですから、まずはやはり3年ぐらいで結論が出るようなものを、2、3件検討する。1件で10億円はかかるでしょう。もっとかかるかもしれません。先生方と民間とでよく協力して、1件当たり何年かけて、どのぐらいの予算でやるかというのも考える。

そういう検討をしないと何か遠ぼえをしているようで、国として認識が十分にされないですから。

# ○前田

この課題というものは、その課題を解決するプロジェクトをやるという意味ですか。

### ○桑原

そうです。課題を提示して。さっき安岡先生が言われたように、システムというのは目的を語るのが第1章ですよね。だから、目的からやっていったら、中で技術があるとかないとかなんとか、そういうのはちょっと二の次でいいので、今、社会的な課題で国も重みを感じられるものを選ぶ。そうしないと予算が取れないでしょうから。

#### ○前田

恐らく、今、いただいたご意見というのは、先ほど木村上席のほうからご説明がありました。あのときはライフとか水とかを選びましたけれども、ああいったものを議論することの第一段階だと思います。ただ、いま社会的課題をどういうものを取り上げるかということですけれども、社会的課題の中で一つぐらい何かを選べということ自体が、また逆に非常に難しいことではないかと思います。今だとライフイノベーション、グリーン・イノベーションに関係するものを挙げることができると思うのですけれども、社会的課題を選ぶことそのもの自体がまた恐らく課題になってくるのではないかと思いますが、そのあたりのご意見もいただければと思います。そういう形で進めていってよろしいでしょうか。まず、社会的課題が何であるか。

# ○桑原

だけれども、選ばなかったら予算は取れませんよ。一般論でシステム技術開発ということで予算なんか与えられてもやりようがないでしょう、我々はそこまで高まっていないのだから。だから、まず実体のあるテーマをきちっとやる中で社会的にも役に立つし、システム技術の何たるかの実体をみんなで経験しながら高めていくという意味なのですよね。だから、今、おっしゃったように、それをみんなで議論して、これとこれを候補に挙げようということでいいのではないかと思うんですけれどもね、とりあえずみんなで相談したらいいと思いますが。

#### ○岩橋

昔、システム工学は、そんなものは常識だと、新幹線の島さんが言ったそうですが、まさにそう で、私はその基礎学力でいいと思っています。そんなものは役になんか直接は立っていなくて、そ れを教養としてしっかり知っていることでいろんなものができているわけです。50年前はまさに新 幹線をつくろうだとか、原子力発電所をつくろうとか、一貫製鉄所をつくろうというところからど んどん仕事がブレークダウンして、IEだとかVEだとかORだとか、いろんな必要性が出たわけです ね。しかし、使おうと思ったけれども、直接使えなくて全然だめだったという人もありますが、実 はだめでなくて、その考え方を活かして現場がもっと現場的に合わせたということで、結局その基 礎力が役に立っていると思いますね。

そういう意味で言えば、今、日本の必要な、国としてやらなければいけないのはやはり安全と食 料ですよ。だから、防衛で、間違っているかもしれませんし無責任な発言かもしれませんけれども、 基地をどこに作るかというのは、一つの最適化問題ですよね。食料自給の問題だって今のままでい いのかどうか、日本中のどこで何をつくっているのか、それをもっと把握して全部データベースと してとらえて、それをどう最適化したらいいかとか。あるいは、今、就活問題だって、仕事がない、 ないと言うけれども、働きたくないから仕事がないのではと思うぐらいで、若い人が100社も受験す るなんて実に無駄なことですよね。

ITで管理して、ある会社は採用枠10人なのに2万人受けていると公表すればいい。 合格率が低いと ころは受けなければいいわけです。それをなぜITでできないかとか、そういうような問題がいっぱ いあると思うのですよ。それはやはり対象に何がいいか、議論してもらって、それで何が要るかと いうような議論をしないとだめじゃないかと思います。

# ○前田

国の安全、食料、あと就活の話も出ましたけれども、アンケートの中にも、一般的な話とともに、 お手元の資料にありますようにかなり具体的な内容も出ています。どんな課題を取り上げるべきか ということについて、先生方、日ごろ、ご研究されている立場から、あるいは生活者として何かご 意見があればと思います。

# ○吉岡

システム科学技術という話をするときには、基本的にはローカルとグローバルということがあり ます。先ほどの新幹線の話でも、グローバルを見ている人とローカルを見ている人とがある程度シ ェアできていて、ローカルが例えば新幹線をつくるというのでセクショナリズムでローカルの問題 に落とし込んだときに、ローカルオプティマムというのとグローバルオプティマムというのがある 程度しっかり対応づけてブレークダウンできる。ローカルが実現しなければいけない問題というの も、ブレークダウンして渡せられた場合にはうまくいく。さらにそれがすごく見通しがいいときに は、日本ではコンカレントエンジニアリングなどと言われて、セクショナリズムだけれども、お互 いに行き来しながら全体のグローバルオプティマムを求めていこうというところまで、うまくいっ ていたのだと思います。けれども、現状の社会システムの課題というのは、グローバルオプティマ ムというのがよくわからないというのと、グローバルオプティマムにきいてくるパラメーターが何 なのかわからないまま、ローカルに分割されていることだと。

例えばごみの処理で生ごみを少なくしましょうとかいって、何か生ごみ何とかで水気をとって、油っ気をとって、どんどん小さくしたけれども、結局、ごみを焼却するときに燃えないから、その上に石油をかけて燃やしているというようなことがあったりするという話を聞きますけれども、結局、そういうのはグローバルオプティマムとローカルオプティマムというものの対応が結局、全然とれていない、だからそういうような問題が起きる。

システム科学技術の問題というときに、グローバルとローカルというのがしっかりモデル化されていた時に、どういうふうに最適化するかというような、ORだとかのお話と、そもそもローカルのオプティマムというのとグローバルのオプティマムの関係がよくわからないような社会システムの中で、どうやって議論していくかという話がある。ステージすなわち、やらなければいけないシステムの段階というのが一段上がってしまった場合、たとえば、会社の中でグローバルとローカルをメンテナンスしていればよかったものが、会社ごとの目標というのはローカルオプティマムで、本当は政府なり、世界政府というものがあるのかどうか知らないけれども、そういうところが今度はグローバルオプティマムをある程度、規定しなければいけないような状況になってしまったときにどうするかという話である。全く、問題のレベルが変わってきているのではないかというふうに思う。システム科学技術は、ある種、モデルがあったときにどうやって解くかというのと、そもそもグローバルとローカルの関係というのをどうやって発見して、その関係をどう見つけていくかという一段前への対応が必要となる。モデルがあったときにどうやって解けるかという問題と、どうやっていいモデルをちゃんとつくるかという問題が2つ、分かれている。昔は後者のほうのグローバルとローカルをどうこうするというのは会社の中ぐらいで閉じていたものが、これからは一段、上に上がってきて、それではどうしなければいけないのか。

例えば社会システムという形で、それをグローバルな形でやっていくのか、法整備でやっていくのかとかということも含めて議論されるのが、これから重要なんじゃないかというふうに思っています。だから、そこをちゃんと分けないと、システム科学技術の研究というのは何なのかというのがよくわからないようになるのではないかなと。

# ○岩橋

全く同感で、モデル化はだれかがしてくれるのではないわけですよ。同定することが問題なわけですよ。企業内どころじゃなく、企業は今はもうワールドワイドでサプライチェーンになっています。自動車だって電機製品だってすごいサプライチェーンになっているわけですよ。その何が問題で、何を解かなければならないかという、それを考えるのがシステムですよ。

# ○吉岡

だからこそ、その2つの話をしっかり分けないといけないと思っています。システム科学の研究をやるといったときに、例えば前者のいわゆるモデルがあったときにどうするかというのはORだとか、結構、数学的な数理的側面のかなりしっかりした理論というのも、これ用に体系立てていけば、多分、ある程度の教科書というのはもしかすると書けるかもしれない。けれども、逆に今、一番、本当に皆さんが悩みに思っている部分に関しては、逆に言うと何かあまりなくて、どちらかというとMBAのように、何か実際に事例ベースで、こういうものを分析した結果とかというものがあるとか、そういったものしか、多分、現状、もしかするとないのかもしれない。ではどうすればいいのかと、

次に何をすればいいかといったときに、学としてどうできるかとかというのは、またなかなか難し い部分はあると思っていますが。

#### ○前田

学は最後に形成されるような気がして、本当に問題をどう解くかということ、何が問題かという ことが、何か入れ子にそこでなってしまっている難しさがあると思います。少し一般化した話も出 てきましたが、また、少し戻りまして、どんな課題を取り上げたらいかということを現在のお立場 から言っていただければと思います。あるいは今の吉岡先生の話に対する議論でもけっこうです。

# ○椿

どういうプロジェクトに来るべきシステム科学が有効であるかというと、今日の木村先生の話に もありましたけれども、モジュールのようなものが並立していて、さっき吉岡先生がおっしゃった ように、その中のローカルオプティマムは簡単に出ると。でも、そのモジュール間にはいろんなイ ンタラクションがあって、片方でよしとしたものが片方に有害作用を出していく。しかも、その関 係性に関しては、いわゆるビジネス環境とか自然環境とか、そういうものと関係性にインタラクシ ョンがあるというような、そういうダイナミクスだとかインタラクションを持っている。これも木 村先生から複雑性とか不確実性という形であったと思うのですけれども、そういう構造を持ったビ ジネス、例えばやはりサプライチェーンマネジメントみたいな話がある。グローバルにわけのわか らない、ある意味で、こちら側から見て情報がきちんと見えていないところとつき合わなければい けないような、情報の不確実性とか非対称性があった空間の中で、何かシステムを構築して、全体 としてビジネスを成功させていくというようなことをやろうと思うわけです。するとシステム科学 としては、それはマネジャーの方がつくる、つまり、システム全体をデザインする要素のモジュー ルの統括というよりは、上位のマネジャーの方々が使うサポーティングの考え方としてのシステム 科学のようなものを今度、設計していくという、そういう形になってくるのだろうと思うのですね。

その意味で、先ほど桑原先生からお話があったように、どういうプロジェクトだとそういう性格 を持っているのだろうかと。なるほど、今日、新幹線の話というのはマネジャーの方が俗人的にそ ういうセンスを持っていたという、島さんですか、技師長さんがおっしゃっていたというのはよく わかりますが、それを支援する体系とはどういうものなのかということです。確かにいろいろプロ ジェクトの中で考えていく、場の中で創生していくというようなことはあるのだろうと思います。 今、直感的に先ほどのサプライチェーンみたいな話をぽっと思いついたのですけれども、これがい い事例かどうかわかりません。私も単に思いつきでそこの部分を言っているだけですけれども。

# ○前田

システム科学が生かされることがわかるような課題を選ばなければいけないし、それは課題を選 ばないと検討できない……。

#### ○椿

木村先生がおっしゃられたように、やはり要素技術というか、モジュール化されて、その中では 比較的パフォーマンスがよくわかるけれども、さっきおっしゃられたように全体パフォーマンスと

いうのは、システムとしてとらえないとわからない。それの中で何を価値とするかも非常に不確実な中で進んでいくというような話。何か、そこにうまい場が提供できる、というのは非常に魅力的だなとは思いますが。

## ○安岡

私もさっき発言しましたが、要は吉岡先生が一番初めにお話しされましたけれども、今まで解けていない問題が残ってきて、難しい問題として、今、我々の前にあるんですよね。だから、それを解いてみないことには、本当にシステム科学が役に立つかどうかわからんというのが多分、桑原先生の言われることだと思うのですね。ですから、問題をともかく挙げてみる。それがシステム科学として解きやすいかどうかというのは次のステップとしてあって、我々がその有効性を試すためには、皆さんに示すためには、多分、よく解けたなという問題があったほうがいいとは思いますが、その前にやっぱり問題を本当に解いてみせるというのが重要だと思います。先ほどの桑原さんがおっしゃったように、ともかく問題を挙げてみたらどうでしょうかね。今、何でみんなが苦労しているんだろうという。その問題が社会の人たちが、そうだな、この問題は解いてもらわないと困るなということがあれば、それをみんなでよってたかって解く。

## 〇木村

幾つか挙げておられるんですよ。

# ○安岡

実際、そのとおりだと思います。ライフとか、それからグリーンと言われているイノベーションが挙がってきたのも、多分、そういうところから挙がってきているし、先ほどの木村先生の発表にも挙がっているということだと思いますから、私はその中から選べばいいと思っています。

# ○木村

もっと具体的なのがなかったですか。このアンケートの中で挙げている、"水"とか、その辺ですね。このあたりが今おっしゃった、解けていない……。

#### ○安岡

ただ、先生、これはやや技術サイドからのアプローチになっている部分があって……。

# ○木村

ですけれども、これを実際に社会システムとして、例えばロボット産業の新規創出なんていうのは社会システムですよね、明らかに新世代、次世代ということで考えれば。ということで…。

# ○安岡

産業創出としてはあり得ますが、何のためにロボット産業が要るのかというところに、多分、社会的な問題があるのだろうと思います。高齢化社会で、みんなが動けなくなったときにやはりロボットが要ると。そっちのほうから一旦出発してみるということが重要ではないかという気がします。

#### ○木村

そうですね。ですから、例えばロボットなんていうのは一つの大きな本当に解けていない、解け る、解けると言いながら、結局、いまだに解けていない問題の一つですよね。

## 

大体、みんなの方向は同じ。ただ、一つ、ちゃんと整理しておかなければいけないと思われると ころは、システム思考がなかったために取り残されたということの問題と、それなりに時代が進ん だことにより生じた問題との違いです。さっきの新幹線を見ても何しても、それから、最初にお話 が出たように、小さいもの要素技術と言われているものをつくるにしても、やはりある意味でのシ ステム技術というものがそこで生きてきたわけです。一方で、システム科学技術が進んだことによ って、そこでまた新しい問題を生じてしまっているような、システム化したために関係性が非常に 複雑になってしまった。情報の問題、ネットワークの問題、それから、さらに経営の問題とか、そ ういうダイナミックな時代の流れによって、さらに問題が複雑になってきているような話と、そも そもシステム的な思考がないために、こんな問題が残ってしまったいうようなことと、その辺の関 係はちゃんと整理しておかないといけない。何かこちらで決めつけているけれども、当事者は全然 違うというようなことが起きるのではないかと思うのですね。その辺、よく整理しておく必要があ ると思います。

#### ○木村

ですから、歴史的な話としては明らかに幾つかあるんですよ。それをさっきはゲノムシーケンシ ングとかという例を使ってお話ししたことが一つありますね。それから、やはり科学技術の進展に よって非常に複雑な現象が生まれてきている。ソフトウェアというのはハードウエアの複雑さが何 乗になるというような話ですね。それはシステム技術あるいはソフトウェアというコンピュータ技 術が生まれたことによって、解くべき問題がさらに難しくなったという側面はもちろんありますよ ね。それはそのとおりだと思います。

#### ○津田

先ほどからちょっと気になったのは、私は個人的には、これからはやはりヒューマンですね、社 会という言葉を入れた以上、人間がかなり大きな要素になってきますので、そういう意味で。最近、 私の分野でも金融工学の中で、やはり技術的な面だけではもう解決できないので、出始めたのはビ ヘービアルファイナンス、行動ですね、人の心理学を入れて、どういうふうに経済・金融が動いて いくかと。そういうところまでいかないとうまくいかないと、コントロールできないと。そういっ たことも出てきていますので、システム科学といったときに、当然、ヒューマン的な心理科学的な ところは当然、強く入れないと。先ほど医療のシステムの図を見ましたけれども、人間はロボット ではないので、やはりちゃんと人の感情、そういうのを入れて、病気だって人が明るくなれば治る 病気だってあるということで、どうしてもヒューマンといいますものをかなり入れないと弱いので はないかというふうな気がしています。

それと、システム科学技術の中に一つ加えていただきたいのは価値評価技術。特にそういうのが 最近、金融工学の中では発展してきていますので、リスク評価とか、そういったものも含めて例え

あと具体的な課題としまして、一つはヒューマン的なところを考慮していった新しいシステム科学はどういうものかというのもあります。あと、ちょっとこれは急に次元が変わって恐縮なんですけれども、この間、たまたま知り合いから話を聞いたのは、今、ご存じのとおり、日本が $CO_2$ の削減をしようとしていると。ところが、日本単独で頑張っても隣の中国が年間50億トンも出してくるとどうしようもないと。そこで、日本としては中国の工場地域、そこを日本の技術でもってエコパーク化して、何とかそこで中国自体の $CO_2$ の削減に手を挙げたい。

そこで、そういうシステム科学、そのトータルなものをどういうふうに入れていけばいいかということ、先ほど国の目先の何らかの形でターゲットとして何か考えているのは、そういうところがあるのかなとふと感じました。ちょっと何か先ほど予算がつくかどうかというような話があったので、何かその辺にニーズがあるのかなと思ったものですから。

以上です。

# ○中村

大学のほうからちょっと発言させていただきたいのですが、昨今の予算削減の話で、これから大きな変革期を迎えています。重点化のところまで戻って大学の組織を考え直す、再編するというような考え方が出始めております。重点化後、どういったことが起きているかといいますと、今日の話は大体工学とさらに工学における文系の要素、あるいは工学を医療などにもっと広げるとか、そういったようなところから出てくるシステム科学の話だったと思いますが、大学のほうは重点化後、エネルギー関係の研究科であるとか、生命科学の研究科とか、情報とか、次々と工学から離れたところに新たな研究の場をつくって分散してしまったわけで、むしろ、今日、出てきたようなシステム科学の問題を大学の場が受け取って、そこで人を育てたり、研究開発するということがやりにくい組織になってしまっています。

この分科会からの提言は、むしろ大学の組織を今後の再編を助けるような、助長するような方向で何かアクションを起こしていただければと思っております。先ほどの桑原さんのお話にありました振興調整費、ここに大学のほうがこれというシステム科学を用いて社会的、今日的な課題を解決するというような提案の募集をかけていただければと思います。具体的な課題に関しては、今日、出ていた例でも幾つかあります。

エネルギーも環境もシステム医療とかいうのがありますけれども、それも大学に考えさせていただければ、それぞれ大学が腕によりをかけた、これでどうだという、そういうものを考えると思います。この場でもたくさんの重要な提言がありましたけれども、それ以外にもいろいろなアイディアが出てくると思います。とにかくシステム科学というもので社会的な課題を解決するのだという、そういう大きなスキームといいますか、枠組みを与えていただいて、それを振興調整費とかCRESTで競わせていただければ、何かその中には幾つか本当に役に立つものが出てくるのではないかと思います。

#### 〇内田

システム制御という視点で課題を分科会で議論してきている中からちょっと感じたことですが、 今回、システム科学技術というのは具体的な課題を検討する中から、最後にではないですけれども、 後で全体像とか、そういう定義ができるというような方向で進むんじゃないかと思っています。そ ういう中で、例えば環境エネルギーシステムという課題を取り上げたときに、これはいろんなとこ ろで、今、取り上げられて、もうやることがあるのかなというような、そういうことを言う人もい ますけれども、いっぱいやることがあるという気がしています。

例えばスマートグリッドは、日本の中ではうまくいっているという言い方もありますが、システ ムの視点からいうと、電力会社が非常にいい統合をやっていまして、それでうまくいっている。た だ、その中に、これからは分散エネルギーを入れないといけないということがあるから、新たな課 題が当然あるし、出てきます。それから、エネルギーシステムをシステムとして売り込むという話 になると、今の日本の電力会社が統合するようなシステムではどうしようもないという部分がある し、例えば中開発国用のシステムだとか、非常に発達したシステム、あるいはマーケットが非常に 関係するようなシステムが必要になるということも考えると、そういうシステムをつくるというこ とをやはりやってみることが非常に大事になるんじゃないかという気がします。

そういう中で、システム制御屋としては例えば関係性を制御するという話、すなわちこれまでの 制御とは違って、サブシステムそのものの制御というよりも、サブシステム間を制御するというの はあるようで、余りこれまでそんなになかった新たなシステム課題も出てくるなというふうに、私 自身は感じています。

#### ○前田

ありがとうございました。制御分科会のほうからは随分具体的なヒントを今回、説明の資料でも いただいてつくっていきました。

# ○赤松

いろいろな課題のシステムを対象として、システムの問題を解いていくことで何かシステム科学 が見えてくるだろうという期待だという話になっています。そういったアプローチをする時には、 やはりある程度は、それぞれの課題でシステム科学の中で何がターゲットの課題であるかというの を決めないといけないと思います。おそらく、どれもすごく複雑な大変なシステムなので、やらな ければいけないことって山のようにあるので、うまくいったけれども、結局、何が問題だったかわ からないみたいなことになりかねないと思います。それぞれの課題の中で何がポイントなのかとい うのを最初に絞って、その中で選ぶということをやっていかないといけないと思います。

例えばですけれども、要素とモジュールなりが何なのかを同定するのがすごく難しい課題なのか、 それともビルドアップするのがすごく難しい問題なのかというのは、重みが多分違うと思います。 そこをよく考えて選んでいかないといけないし、新たなるシステム科学技術として、うまく同定す る技術であるとか、ビルドアップする技術ができ上がってきましたよというふうにして、やってい く必要があるだろうなと思います。

それで、皆様のアンケートの中にもありますけれども、サービス工学を一つの課題としてやって いいと思うのですね。それはなぜかというと、まず、今、言いました問題点の同定というのが結構 難しいからです。人間行動や価値といった話になりますけれども、サービスの受け手が何を価値と 思っているかというのを同定することが大変で、さらに、それを実現するためには何をエレメント としてやるべきかを見出すことも難しい課題です。そういう意味では、なかなかサービス関係とい うのはいい課題かなと思います。

サービスを提供するためには幾つかの視点があって、すごく大ざっぱに分けるとフロントエンド とバックヤードに分けられます。しかし、接客をしている部分のフロントエンドの価値と、それを 運用する側のバックヤード側の価値が必ずしも一致していない。

さらに、実はバックヤードも幾つものシステムがあって、例えば医療だったら治療もあるし、投 薬もあるし、いわゆるお金の管理もあり、幾つかのサブシステムがいっぱいあります。それを、そ れぞれを独立してつくってしまうと、お互いのトレードオフがうまくいかなくなることがあります。 そういう価値なり、要素技術を決めるだけでなくて、要素の中からそれぞれのサブシステムをつく ったときに、サブシステム間のトレードオフの問題というのが大きな問題になります。このとき、 全体の価値基準の中からどれを優先して、どれを落としていくかという問題を扱えるという点でも サービスはよい課題と思います。

最初のほうの話に戻りますが、価値を同定して、それから何が大事な要素であるかを同定すると いう話と、それを今度、組み上げていく中で、サブシステムのトレードオフの問題をどのように解 決するかという話の2つの観点で見ていったら整理しやすいのではないでしょう。

#### ○倉橋

いろんな課題が出てくるんですけれども、最初に木村先生のほうでお話しされた政策課題解決例 が幾つか、水ですとか、エネルギーでありましたけれども、私はこれを見ていて非常に共感をしま した。このようなところが一番、今のシステム科学技術で解けない問題なのだろうというふうに思 います。要素技術の中にももちろんシステム科学技術はたくさん入っていて、それは多分、日本の 強さを支えてきたもので、比較的、そこはうまくいっているところなのではないかと思っていて、 ただ、それが全体としてどう使われていくのかというところに対するアプローチ、そこに対するシ ステム科学技術がやはりおくれているのだろうというふうに見ていました。そこがあったので直感 的にこういう絵をかかれたんじゃないかということで非常に共感を持ちました。

そういう意味で、多分、解くべき問題というのは桑原先生もおっしゃいましたけれども、多分、 きっと大学ではなくて企業の側はたくさん知っているんだと思います。こんなほうとか、あんなこ ととかいっても、きっと大学の先生は自分の周りのことしか見えていないので、余りいい答えは出 てこないんじゃないかと思うんですけれども、そういう意味で、そういう問題ではないことを考え ようとすると、今のシステム科学技術が解けていない問題というのは社会システムなんだと思うん ですね。人間系がたくさん入ってきたりとか、先ほど津田先生のおっしゃられたヒューマンの問題 が入ってきたりとか、それから組織が入ってきたりとか、いろんな多様な主体が入ってきた瞬間に、 今のシステム科学技術では難しくなってきているんだと思うので、そこが多分、これから非常に重 要なところなのではないかというふうに思っています。

ほうっておけば、社会システムというのを自然に任せておけば、非常に非効率なものになるわけ ですね。人間は当然合理性を持って行動していませんので、人間自身がヒューマンエラーをたくさ ん持っていますし、ステレオタイプをたくさん持っていますので、ほうっておけば非常に非合理的 なものになるわけで、非効率になるわけですね。それをうまくどうやって効率的にするのかという ところが大きな問題だと思います。

幾つも課題がありますけれども、例えばという意味で挙げると、例えば労働市場の問題、先ほど 就活の問題がありましたけれども、これの非常に非効率で、今、存在しています。もし非常に合理 的に人が行動していれば、完全にミスマッチはなくなって、就職率についても非常に高いものにな ると思うんですけれども、多分、そうはなっていない。お互いに非常に非効率性、非合理性が残っ ているんだと思いますし、それから、それを支える教育システムについてもいい人材を提供できて ないという意味では、何か時間おくれがあったりとか、非効率性があるんだと思います。そういう 意味で、教育システムを含めた労働市場の問題ですね。

それから、これを言うと政府は嫌がると思いますけれども、契約とか談合の問題についても、い わゆる省庁で行われているような契約についても、非常な非効率性が残っていると思います。企業 のほうが非常に効率的にやっていると思いますし、あと……。

# ○前田

調達も。

# ) 倉橋

そうですね、調達もそうですね。

それから、年金の問題についてもあれだけの問題を起こしていましたけれども、もしかしてシス テム技術がうまく貢献できれば、もっと非常に少ない人数で効率的な運用ができるかもしれない。 そういう提案は出てきていないと思いますね。

先日、木村先生のご紹介もあって日銀のほうに行ってきました。非常におもしろかったのは、マ クロ経済予測をするわけですけれども、世界の中で日本だけがそういう経済予測をきちんと理系の 人がやって数値を示して政策を競い合うということをやっていないという話があったんですね。

ヨーロッパもアメリカもたくさんの機関が競い合って政策を出して、それに対してきちんとした 統計演算なり、マクロ経済モデルをつくって、理系の人がきちんとコンピュータで計算をして、こ のぐらいうまくいんだと競い合っている。日本だけが何となく政策論争をやっていて、こっちがい いあっちがいいとやっているという意味で、政府が決めるいろんな施策に対しても、実は日本はか なり立ちおくれていて、そこに対するシステム科学技術の貢献はまだまだあるだろうというふうに 思います。そういう意味で、多分、ものづくりというか、ことづくりかもしれませんけれども、い ろんなことについては企業とかの方からたくさん意見が出ると思いますが、私のほうからはそうい う社会システムについて何か貢献できるのではないかと思っています。

以上です。

## ○前田

ありがとうございます。社会システムを中心にいろいろ出していただけたと思います。 ほかに、まだ、ご発言されていない方、では、三平先生、お願いします。

# ○三平

今日のお話を聞いていて、自分の中である意味でもやもやとしたことがあります。その中の一つがシステム思考という考え方とシステム技術という考え方です。というのは、先ほど桑原さんのほうからお話のあった、課題を取り上げるといったときに、それを我々がシステムとして考えなければいけない場合、それをシステム技術として分解して考えるのか、それをシステム思考という形でシステムとして考えているのかというようなことが、何かある意味であやふやになってくるような気がしています。

特にシステム思考というのは、どちらかというとマネジメントのほうで出てくるような考え方で、木村先生のお話の中ではシステムをある種の分解をするというところだったような気がするんですけれども、そういう思考というのがどれぐらいの形の技術という形にまとまっていく、私のほうは大学のほうから考えますので、そういうシステム思考というのが工学という形でどのくらいまとまってくるのかなというのが一つ自分の中で見えないところが一つあります。

別の形でいえば、今度はある手のシステム思考がある程度、システム思考によって問題を分割することによると、今後はそれに対してシステム技術で解ける問題というのも出てくる気がします。 その一つというのは、例えば制御問題であり、内田先生が言われたようなネットワークの間のシステム制御の問題というような形で、分解してくるというような形ができてくるのかなというふうに思います。

それはシステム技術というふうに、確立してくるんだろうなというふうな気がするんですけれども、そのシステム技術というのが今、言っているような形の要素技術の上にくる技術なのかなというのが自分の中でちょっとまだわからないところがあります。というのは、例えば昔もちょっとお話ししたと思いますけれども、横幹のシンポジウムに出たときに、横幹の人たちが横幹をやるといったときに必ず出てくる問題は、そういうことはだれでももうやっていますよというお話が出てきます。それは多分、先ほどの新幹線のときの話のように、いろんな技術者が集まることによっていろんなことができる。その中に制御技術者もいるし、システム技術者もいるからという形になってくると。そうすると、今度、できてくるシステム技術というのが要素技術と同列に並んで何かになるのかなというような気もしていて、それが私の中では最終的にどこに落ち着けるのかなというところがわからない。

それは多分、システム技術、システム工学というものの定義をしなさいというお話が何度も出ていますけれども、それが今私が言ったところのシステム思考とシステム技術の間のどこら辺に落ち着くのかなというところになっているのかなという意味で、私の中でまだちょっとわからないところもありますが、そういうふうに思いましたので。

# ○前田

ご意見、ありがとうございます。一つ確認ですけれども、まだ、先生ご自身でも迷っていらっしゃるところもあるけれども、恐らく問題を見るときはシステム思考的に見て、解をつくるときにはシステム技術的にというようなふうに、ちょっと言ってしまうと言い過ぎかもしれないんですけれども、それに大体近いという感じでよろしいですか。

#### ○三平

かなりフィロソフィーの意味でシステム思考というのが出てくるような気がして、そうすると、 多分、上位概念になってくるんですよね、基本的には。ただ、技術という形になってきたときに、 ほかの要素技術と同列に何か並びそうな気がして、並んではいけないとは思うんですけれども、も う一つ、何かを仕掛けなければいけないのかなというのが私の中でもちょっとわからなくて、とい う形で発言させていただきました。

# ○丹羽

私も今日の委員会と前と後でどのぐらい理解が深まったかというと、むしろよりわからなくなっ たというのが正直なところです。けれども、今の三平先生のご意見と私もちょっと似た印象を持っ ていまして、今日、出たいろんな言葉の中でシステム科学というのとシステム工学という話もあっ て、システム技術というのとあって、システム思考というのがあると思うんですね。その辺がどう も出席者によってどこを対象に話しておられるかという意識が、みんなほとんど違うんじゃないか なというのを前から私は思っていて、だから、そのためにこの委員会のメンバーは産学幅広くとい うことで選ばれていると思うんですけれども、バラエティがあるために逆にわかりにくくなってい るという、そういうところがあるんじゃないかなというような気が私はしております。

それで、さっき桑原さんからご提案があったような何か一つ、例をやってみて予算をつけたらど うか。これも現実的な解としていいのではないかとは思いますけれども、では、予算をつけて何か やることの、何を目的にやるかということですね。それは今回のシステム科学だかシステム技術だ かを明らかにするためのプロジェクトなのか、あるいは何か社会的な課題を一つ解決するためのプ ロジェクトなのか、それによって全然、多分、話も違ってくる。だから、もし社会的課題を解決す るためのプロジェクトということであれば、もうちょっと時間軸を短くしてやる必要がありますね。 さっきおっしゃった2年か3年ぐらいで何か答えを出す……。

# ○桑原

3年。

# ○丹羽

3年ですか。ということだと、やはり、それはそれなりの時間スケールで考える必要があるという ことでありますから、それは産業界にいらっしゃる桑原さんからのご提案だから出てくる発想だろ うと思います。大学でシステム科学だか、そういうシステム工学だか、そういうことを考えておら れる先生方からすれば、また、ちょっと違うのではないか。だから、私の提案としては、どっちか に決めたほうがいいのではないかというふうに思います。それで、何かもしプロジェクトをやるの であれば、余り大きい社会のシステムの課題というのを取り上げると、システム科学とか技術とか、 そういうもので済まないようなことがおきる。そっちのほうがむしろ多いですね。だから、科学や 技術で貢献できる部分というのはむしろ、私はどっちかといえば少ないのではないかというふうに 思っていまして、なるべく余りふろしきを広げ過ぎるテーマを掲げないほうが私はいいのではと、 そういうふうに思っています。

では、手短に話しますけれども、今、国のレベルでいきますと、価値観というのはいわゆる国勢の拡大・再興なんですよね。それで、そのもとで成長戦略が出ていて、その中では個別の部品等は継続、外部にいくでしょうけれども、システム化というのは非常に日本がおくれていると。だから、エネルギーですとか環境ですとか水だとか、あるいは社会システムですとか、これから、今、トヨタなんかも中心になってやっているいわゆる電気自動車を含めた全システム系統、そういうのを国もモデル都市構想の費用を出してやっていたわけですよ。

それで、そういう背景が一つあって、それで、システム技術というのは私もわかりません。皆さん、いろんなご意見があるようですけれども、まだ、みんなで賛同できるところに落ち着けないでいるんですよね。だけれども、今の社会問題というのは明らかにいろいろとあって、それで、そのことをシステム的に解決するには一つの技術ではだめだと。だから、今、ここにおられる先生方お一人では絶対にできない。何人かまとまらないとできない。だから、国から見ますとシステムがこれから大変大事だと。その解が欲しいわけですよ、1つ、2つと、そのシステムの。ところが、それをやるためにはまず一種の技術の融合というのが日本で動かないとだめだと、こう国も思っている、我々も思っているんですよ。

# ○丹羽

それは全く異論ないですね。

# ○桑原

それで、私の意見を端的に言うと、それをまず2つ、3つでやってみせようではないかと。だから、その目的はそれをやってみせることであって、あるいはやり方を示すことであって、結論はちゃんと出なければいけないですけれども、だけれども、その中でシステム技術は何ぞやというのは二の次でいいんですよ。だから、そういう具体的なプロジェクトが動いているものを片側で持ちながら、それで、我々のようなこういうグループは、個別にいろいろ経験しながら勉強したらいいと思うんですよ。

だから、僕の別の提案は各先生方に何でもいいから一つシステムをとらえて、自分で定義して、それで、それをご自分で机上だけでいいからやってみてほしいと。そうすると、恐らく、今、どうなっているかというのは現地に行くことも含めて調べられるでしょうし、こういう問題をこういうことで解決できるんじゃないかとお考えになる中で、システム技術とは何ぞやというのがだんだん固まってくるのではないかと。そればかりやっていると、国からは認められる存在ではないんですよ。だから、国に認めさせるような2つ、3つをやることと同時にやらないと、もうサロンになっちゃいますよ、これは。

#### ○丹羽

それは非常によくわかる話で、例えば水のシステム、パッケージだとか、それから、新幹線だとか、これはすごく大事なことだと思うんですよ。だから、それを国としてやはりやらなければいけないということは非常によくわかるし、桑原さんとして何かこの委員会をそういうものに、一つのビークルにしてやっていきたいという、これは非常に私もよくわかるんですね。ただ、この委員会

のミッションというか、何をターゲットとするかというところで、それがコンセンサスとして得ら れれば、それはいいと思うんですけれども、多分、もし、水ビジネスをやろうとしたら、さっきお っしゃったような3年10億というのでは済まないと思うんですね。では、それとあとはどういうフォ ーメーションをやるんだと。

# ○桑原

フォーメーションは大事ですね。

# 〇丹羽

そうですね。その辺もちょっと考えないといけないかなと思って、私は発言をいたしました。

# ○桑原

フォーメーションは国が極めて高い興味を持って見るところですよ。日本の学が融合が本当にで きるのかと、融合じゃなくて統合だね、異種技術の持ち寄りで一つの目的に向かって学が動けるか どうかという、これが日本にとってチャレンジなんですよね。産業界から見ると、それをやってく れないと、とてもとても世界に勝てない。

### 〇出口

当然、システム的な思考及びシステム科学が適用されなければ解決できない問題なのに適用され ていないという問題が一つあって、それ以外にやはりシステム科学技術そのものが大変未成熟であ る。その未成熟の典型は多分、今、桑原先生がご指摘されたように、あらゆるいろんな分野を統合 しなければいけないのに統合できない。そこのところが一番未成熟だと思うのですね。それをやっ ばり技術として解決していかなければいけないと私は思います。だから、その問題を2つちゃんと切 り分けて、つまり課題を挙げるにしてもやっていくべきじゃないかなという気がしました。

# ○桑原

それを別に否定すべきでないですな。

#### ○木村

最初に前田さんが挙げた議論の前提で、合意ということが幾つか挙げられていますよね。この現 状認識を共有したいと。実は丹羽上席は現状認識は共有されていないというお話であったので、ち ょっとまた、そういうのが出てくると我々としては非常にやりにくいのですけれども、まず、私た ちが前提としていますのはこの認識ですね、ですから、まず分野/領域としての構成が確立されて いない、今、出口先生がおっしゃった、あるいは桑原先生がおっしゃった、まだまだ前途、問題が システム科学技術では確立されていないと、未解決の課題があるということ、これがまず共通認識 のトップですよね。

次に、やっぱり社会的課題の解決のために分野/領域の統合が必要であるという認識が広がりつ つある。この辺はよろしいでしょうかね、統合。もう一度、確認させていただこうと思いますけれ ども、これも先ほど国のほうでもそれがあると、一定のそういう認識はあるということですよね。

書かれ始めております。これはよろしいでしょうか、皆さん。

それから、統合化を実現する共通の手段として、システム科学技術が重要であるという点も一定の 理解を持たれつつあると。これは私どもも肌身で感じております。それから、第4期の草案の中にも

# ○桑原

システム科学技術というのはそういうものかどうかわからないけれども、そういうふうに言っておけばいいのですよ。それで、これにみんなで力を入れようということをやったらいい。

# ○木村

体系化は途上にあるけれども、こういう言葉を使うと一種の共通認識、いわゆるディベートといいますか、ダイアログが可能なのですよね、これが何だということを追求しないでも。ということも、確認をぜひ皆さん、していただきたいと思います。そうでないと議論が進みません。それから、システム科学技術はどのような課題解決につながるかについて、具体的な内容はまだ十分に検討されていない。まさにこれを進めようということで、幾つか提案すべきではないかという桑原先生のご提案ですが、私たち CRDS の使命というのは、こういう研究をやってくださいといい、研究をやってくれるグループのフォーメーションを提案するということです。これが私たちの役割ですので、ぜひ、この4つは共通認識としてご確認いただきたいと思います。

もちろん、いろんな問題があります、個人的には、確かに三平先生がおっしゃったようなシステム思考とはとか、システム科学とは何かも含めて、システム思考とシステム技術の問題とか、こういうのはやはり桑原さんがおっしゃるように、具体的な問題と並行して考えていかなければいけない

皆さんの議論の中で少し気になりましたので、共通認識をぜひ持っていただきたいということを もう一度アピールして伝えたいと思います。

# <閉会挨拶>

#### ○木村

今日は佐藤さん、ありがとうございました。実は私、台湾の新幹線につい最近乗ったのですけれ ども、1時間に2本ぐらいしかなくて、安いのですけれどもがらがらなのですよ。日本の値段の3分の 1ぐらい。だから、本当にもつのかなという気がして。日本の新幹線の場合、東京一大阪という非常 に大きな2つの都市があって、台湾はそういうのが余り南のほうはないですが、そういう意味で、あ のときは絶対的にもうかるということがあって採算につては考える必要はなかったのですね。です けれども、これからやる社会システムというのはそう簡単ではなくて、本当にイノベーションとし て社会に受け入れられるのかと、社会的価値を生むかという点は、60年代と比較にならないほど難 しい問題があると思います。したがって、そこで新しい形のシステム科学技術が必要になってくる のではないかと。

もう一つだけ、非常に莫大なお金を投じたのにイノベーションを生まなかった例というのはあの 第5世代コンピュータですね。あれはすごく大きなお金を使って10年間かかってやりましたが、つく られた瞬間に無用の長物になってしまったということがありました。そういう例はたくさんでもな いけれども、あるのですよね。これからはそういうことはないように、まさにシステム科学技術と いうのがそこの部分を担う、ほかに担うような学問体系がないと思うのですね。そういうことでま すます重要な私としては期待感、この科学技術には追い風が吹いているということを確信しており まして、我々のこれからの議論が非常に重要だと思います。いろいろ随分、価値のある議論をして いただきまして、私たちへの非常に大きな励ましになっています。

次回、是非よろしくお願いいたします。今日はどうも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)

※お問い合せ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2010-XR-11

# システム科学技術推進委員会記録第7回 提言に向けて

平成 22 年 11 月 Nov. 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. Any quotations must be appropriately acknowledged.

