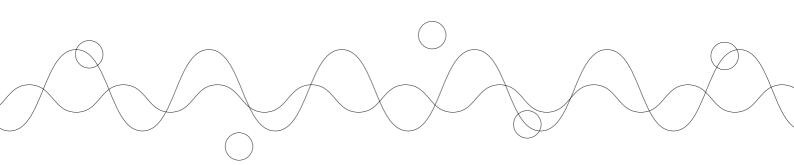
CRDS-FY2010-XR-06

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4回 制御工学とシステム科学

2010年5月7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
		委員会の趣旨	
	1.2	第4回のテーマ設定に関して	. 2
2.	第	4 回委員会 概要	. 3
	2.1	第 4 回委員会 議事次第	. 3
	2.2	内田健康先生 ご講演概要	. 4
	2.3	三平満司先生 ご講演概要	. 4
	2.4	舩橋誠壽技術顧問 ご講演概要	. 5
	2.5	飯野穣主幹 ご講演概要	. 5
	2.6	第4回委員会参加者一覧	. 6
	2.7	システム科学技術推進委員会 委員名簿	. 7
3.	第	4 回委員会 講演記録	. 8
	3.1	内田健康先生ご講演記録	. 8
	3.2	三平満司先生ご講演記録	30
	3.3	舩橋誠壽技術顧問ご講演記録	47
	3.4	飯野穣顧問ご講演記録	34
	3.5	総合討論記録	75

1. はじめに

1.1 委員会の趣旨

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、「制御工学とシ ステム科学」というテーマの下に開催された、第4回委員会の内容を取りまとめたものである。

1.2 第4回のテーマ設定に関して

システム科学技術の中枢を担うのは、モデリング、ネットワーク、最適化、そして今回のテーマである制御工学である。制御工学は、ほとんど数学と変わりないような研究から、現場の中に潜り込んで制御機器の調整を行うような開発まで、非常に幅広い活動を含む。また、対象とする領域も、電気、機械、化学、航空、自動車など、ありとあらゆるところで制御技術が使われている。従って、どういう切り口でこの分野を見るかは難しいが、今日は、現在特に重要となっている環境問題とエネルギー問題に着目する。

環境問題やエネルギー問題では、様々なレベルと異なった側面があるが、いずれの場合も、技術・社会・地球が複雑にからみあっており、「システムの問題」として課題が提示される場合がほとんどである。グリーンイノベーションの実現へ向けては、システム科学技術の方法論が大きな役割を演じる。制御工学コミュニティの中でも、イリノイ大学の学生が主体となって"Emerging Topics in Control and Modeling"というシンポジウムを開催し、世界の著名な研究者を集めて Alternative Energy Systems と Biomedical Systems に関して議論が行われるなど、動きは非常に活発となってきている。今回は、制御工学が今後の方向性、特にグリーンイノベーションへ向けた制御システム工学の課題について、議論することを目的としている。

2. 第4回委員会 概要

2.1 第4回委員会 議事次第

1. 日時·場所

日 時:5月7日(金) 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:制御工学とシステム科学

2. プログラム (敬称略)

10:00~10:10

配付資料確認 [事務局]

第4回のテーマ設定について [木村上席フェロー]

10:10~10:50 (発表 30 分+質疑 10 分)

制御システム分野の役割と展望

[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]

10:50~11:15 (発表 15 分+質疑 10 分)

制御システム分野のファンディングの現況

[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]

11:15~11:55 (発表 20 分×2 件)

グリーンイノベーションへ向けた制御システム工学の課題

・環境の視点から

[舩橋誠壽 株式会社日立製作所 システム開発研究所 技術顧問]

・エネルギー技術分野の視点から

[飯野穣 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 主幹]

11:55~12:30 (35分)

議論

閉会挨拶 [木村上席フェロー]

3. 配布資料

資料1 開催趣意書

資料 2 委員名簿

資料3 第4回参加者一覧

資料 4 内田健康先生ご講演資料

資料 5 三平満司先生ご講演資料

資料 6 舩橋誠壽様ご講演資料

資料7 飯野穣様ご講演資料

2.2 内田健康先生 ご講演概要

- ◆ 制御とは「目的に向けた影響力の持続的行使」と定義することができる。システムに影響力を 与えるというのが制御であり、制御した結果は、システムの目的に沿って評価される。制御シ ステムにおける制御の役割とは――「システムには機能(目的)があり、制御は、入力を構成 してシステムの機能(目的)を実現する」ことにある。
- ◆ 制御は工業的なシステムに用いられて発展し、温度、圧力、流量の制御がなされ、古典制御が 積み重なり、体系化されて制御工学の分野が第三の科学革命の一環として形成された。制御は、 人工物の生産システム、人工物である家電、自動車、航空機などの消費製品、宇宙開発、海洋 開発などの極限環境などに貢献してきた。
- ◆ 制御分野における日本の特徴として、世界に先駆けて 1960~1970 年ごろに関連学科が設置されたが、次第に要素技術を重視する教育組織への回帰・再編が進んだ。実システムについても世界をリードした時期があったが、その後停滞した。
- ◆ 現代の課題として、制御対象に要求される機能が高機能化、高付加価値化しており、この点で 局所最適が求められる一方で、制御対象の複雑化し単体からネットワークになったことによっ て、目的相反や干渉が起こっているという点がある。
- ◆ 大規模、複雑、膨大な不確かさを持つネットワークシステムを制御することが求められており、 従来から行ってきた安定性、ロバスト製、適応性の達成という点に加え、新しい機能として、 異なる目的を持つ要素間の合意形成、局所的機能と大域的機能の整合、要素間の関係性の制御 が必要とされている。
- ◆ 制御システム分科会では、第1回で環境・エネルギー/バイオ・医療/人間・社会を適用対象として抽出し、第2回で、環境・エネルギーを取り上げて議論した。第3回では、バイオ・医療を取り上げる予定である。

2.3 三平満司先生 ご講演概要

- ◆ 平成 15 年度に科学技術振興調整費に採択された研究課題の成果報告書のキーワード分析から、「制御、計測、システム、モデル」といった横断型のキーワードが、重点領域のものと同等の数で使われていること、また、これらの横断型の研究分野が他の多くの学問領域と接点を持っていることが示された。
- ◆ 平成17年から21年までの科学研究費の全ての採択課題名を見ると、全分野で「制御」を含む ものが制御分野の約20倍あり、制御の分野横断的な性質を顕著に示している。
- ◆ 一方で、科学研究費における新学術領域研究(研究領域提案型)における平成 20 年、21 年度 に採択された研究領域を見ると、理学系もしくは材料・物性が主となっており、横断的な領域 の採択は見られない。

2.4 舩橋誠壽技術顧問 ご講演概要

- ◆ 制御の視点から環境問題を見ると、経済活動などを含む社会システムを政策決定者などの制御 主体が制度を通じてどのように制御していくか、社会システムの諸活動が環境としての物理・ 生体システムにどう影響するか、社会システムをどうシステム分析するか、物理・生体システ ムを観測システムによってどう推定・同定し制御主体にフィードバックするか、という枠組み の中で捉えることができる。
- ◆ 大気や環境の現象では、観測できるデータは現象を構成する要素のごく一部であり、関数やパ ラメータを導入した推定・同定が重要となる。これは、申請排出量が正しいかを確かめたい、 越境汚染を解明できないかといったニーズに対応するためである。
- ◆ 社会システムのシステム分析という点に関しては、温暖化対策立案のために環境省が実施した 脱温暖化 2050 研究プロジェクトの例では、目標を設定し2つのシナリオを描き 12 の方策を提 案するとともに費用最小になる方策をシミュレーションしている。これは制御の視点からみる と始点・終点に制約をつけた最適制御問題であり、対策投入のタイミングの最適化を試みたも のであるといえる。様々な対象へのシステム分析が求められている。

2.5 飯野穣主幹 ご講演概要

- ◆ 電力系統や交通システム、ビルなどの社会インフラを取り巻くエネルギーの課題としては、人 間の活動環境におけるエネルギーの合理化、スマートグリッド等の新しい電力供給インフラな どの整備があげられる。
- これまでのエネルギー問題は、主に、設備運用最適化・需給運用最適化・設備投資最適化・リ スク管理・需要予測などの技術のもとで解決されてきた。
- ◆ 投資とエネルギー効果は比例関係にあるが、ICT 技術やシステム制御技術をうまく活用すれば、 低い投資でも高い省エネルギー効果が得られるケースがある。そこに、新しいイノベーション の可能性があるのではないか。
- ◆ 具体的な課題の例としては、時空間を超えたエネルギー利用(電気の貯めにくさ、熱の輸送の しにくさの克服)、マルチプレーヤーによる経済システム(発電事業者、送配電事業者、需要家 などのマルチプレーヤー間でのエネルギーの融通や売買)、広域・分散システム(広域の分散電 源ネットワークの設計)などが考えられる。

2.6 第4回委員会 参加者一覧

			敬称略
<u>氏名</u> 講師		所属機関	役職
舩橋	誠壽	株式会社日立製作所 システム開発研究所	技術顧問
飯野	穣	㈱東芝 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部	主幹
<u>委員</u>			
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
杉原	正顯	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
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	<u>:</u>	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・リスク解析戦略研究センター	センター長
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
原山	優子	東北大学 大学院工学研究科 技術社会システム専攻	教授
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
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 コンビュータサイエンス 専攻	准教授
市原	健介	(独)日本貿易振興機構	産業技術部長
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
事務周	司		
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

2.7 システム科学技術推進委員会 委員名簿

(2010年5月7日開催時)

				敬称略
<u>氏名</u>	3		所属機関	役職
	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	株式会社 富士通エフサス	顧問
4	丸山	宏	キヤノン(株)デジタルブ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	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	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	ā†	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・リスク解析戦略研究センター	センター長
12	日	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
14	原山	優子	東北大学 大学院工学研究科 技術社会システム専攻	教授
15	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
16	安岡	善文	国立環境研究所	理事
	国	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
官				
18	大竹	暁	(独) 宇宙航空研究開発機構	総務部長
	市原		(独)日本貿易振興機構	産業技術部長
JST	関係都	当		
20	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
21	有本	建男	(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
22	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
23	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
	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
事務	易			1
25	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
26	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
27	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
28	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4回委員会 講演記録

3.1 内田健康先生ご講演記録

JST/CRDS 第4回 システム科学技術推進委員会 2010年5月7日

制御システム分野の役割と展望

内田健康 早稲田大学理工学術院

1

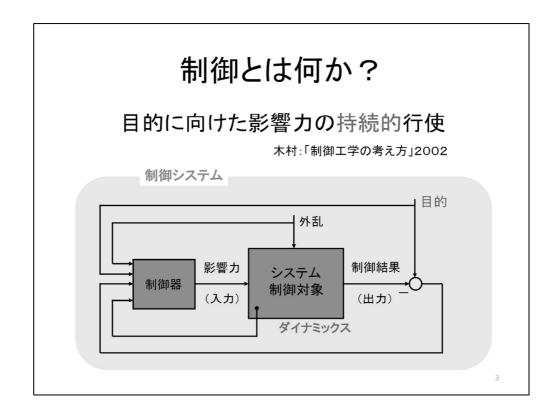
今日は「制御システム分野の役割と展望」というタイトルでお話をいたします。制御工学の大家の木村先生の前で、役割と展望というような話をするということで大変緊張しておりますが、始めさせていただきます。

概要

- ・制御とは何か?
- ・ 制御システム分野の系譜
- ・ 制御システム分野の現状
- ・制御システム分科会
- ・ 制御システム分野の課題

講演は、こういう流れで進めたいと思います。

まず、「制御とは何か?」、それから簡単に歴史を振り返って、現状がどうなっているかという話 をして、それを踏まえて、活動を開始している分科会の活動内容をご紹介します。最後に、少し私 の視点も加えてはいますが、分科会の活動を踏まえて、今後の制御システム分野の課題はこんなも のになるのではないかというお話をさせていただきたいと思います。



まず、「制御とは何か?」――大変、大上段の問いですが、木村英紀先生は、「目的に向けた影響 力の持続的行使」という定義を「制御工学の考え方1」の中で提示されています。システムに影響力 を与えるというのが制御ということですが、その結果、制御結果というものは、目的に沿って評価 されるわけです。入力と出力があるというところが、システムの中でも特に制御というものを考え るときに大事な視点になると思います。

制御結果が定量化され、さらにシステムの目的も定量化されているような場合には、結果と目的 の差を利用して制御をすることができます。出過ぎたら抑え、足りない場合にはプラスするという 考え方で、フィードバック制御と呼ばれています。システムに関しての情報、すなわち影響力から 制御結果へのモデルが非常にはっきりしている場合には、目的(=制御結果)に合うような影響力 (制御入力)を予め選べば、大変効果的に制御をすることができます。これはフィードフォワード 制御と呼ばれる考え方です。

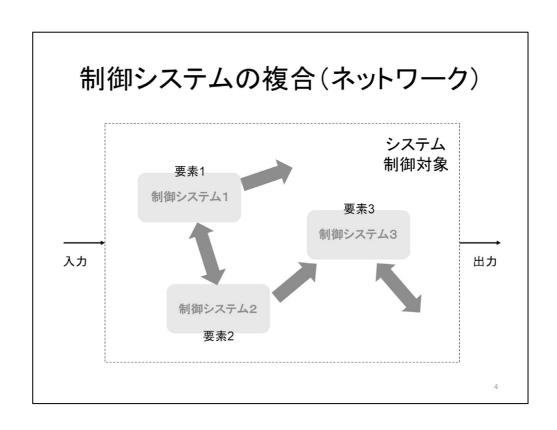
通常、制御対象には外乱が存在することを前提にして、制御は設計されます。フィードバック制 御は、結果を見ながら調整をかけるということなので、どうしても遅れが起こるものの、結果を見 ながら修正できるという点において、大変、外乱に強い制御方式となります。一方、フィードフォ ワード制御は、この外乱というものに対しては必ずしも強くないということが知られています。

外乱、制御対象の環境を測定できるという場合もあります。それをうまく使うと、さらにいい制 御ができ、これはゲインスケジューリング制御、あるいは予見制御というふうに呼ばれています。 もちろん制御対象の状態が、何か測定できれば、さらによい制御ができるということは当然であり

¹ 木村英紀(2002). 制御工学の考え方 講談社

ます。

それからもう一つ大事な視点で、持続的行使の「持続的」ということですが、制御工学の対象と なるシステムというのは、ほとんどの場合、ダイナミクスを持っているということを前提にしてつ くられています。ダイナミクスというのは、簡単に申し上げますと、入力を決めると出力が決まる というのは、これは当然ですが、ダイナミクスを持つ場合には、単にその時点で入れた入力だけで は出力は決まらず、それ以前に加えられた入力が関係してきて結果が決まるという、そういうもの を、ダイナミクスを持っているシステムと言います。制御対象として我々が考えるものは、ほとん どの場合、このダイナミクスを持っている。逆に言うと制御工学は、ダイナミクスを持っているシ ステムを対象としているという言い方をしてもよいと思います。もちろん定常状態の制御というこ ともありますので、ダイナミクスが落ちついている、定常状態における制御ということも、もちろ んあります。



さて、これをまとめまして、これから制御システムという呼び方をいたします。ここに挙げたシ ステムというのは、具体的に言うと、自動車であったり、一つの機械であったりして、それを制御 するということになりますが、実際には、そのシステム自身がいろいろな制御システムの複合とし て成っている場合がほとんどです。逆に言うと、先ほど示した枠組みは、かなりの汎用性があり、 複合的な場合も含めた考え方を普遍的にとらえているものであると言えます。

制御システムにおける 制御の役割とは?

システムには機能(目的)があり、 制御は、入力を構成してシステム の機能(目的)を実現する。

5

したがって、制御システムにおける制御の役割とは――「システムには機能(目的)があり、制御は、入力を構成してシステムの機能(目的)を実現する」というふうに、ここでまとめてみたいと思います。

制御システム分野の系譜

18世紀

ワットのガバナ ・・・・・・・・ 産業革命

巨船操舵のサーボメカニズム

温度・圧力・流量制御

対象・課題 複雑化

制御法の開発

普遍化•体系化

1930年代

制御工学(古典制御)・・・・・・・ 第三の科学革命

最適制御、現代制御(モデル)、ロバスト制御、・・・

6

歴史を少し振り返ってみたいと思います。制御工学の教科書を見ると、まず、最初の例として、 ワットのガバナがあります。フィードバックの原理を利用した装置で、回転が上がると遠心力を利 用して弁が開き、蒸気機関の蒸気圧が下がるという、非常に有名で重要な発明です。実は、この発 明が産業革命を誕生させたという言い方を、木村先生はなさっているくらいです。生体の中にもフ ィードバックのメカニズムはたくさん見られ、フィードバックという考え方自体は、特に人間が発 明した考え方ではありませんが、工業的なシステムに初めて利用されたという意味で、意味のある 結果だと思います。 それから、当時出現した巨大船に対する操舵のサーボメカニズム、それから 機械単体というものではなく、流体や気体といったものを制御する必要が出てきました。これがプ ロセス制御の源流と言っていいと思います。

こういう具体的な発明の中で、例えばガバナの中にあるフィードバックのメカニズム、それから サーボメカニズム、プロセス制御という考え方が普遍化されて、制御工学という体系に近づいてい くわけです。古典制御と呼ばれているものがほぼ完成したのが、第三の科学革命――これは「もの つくり敗戦」の中で木村先生が書かれていますが――の成果の一つと言うことができます。それを 踏まえて、次々とあらわれる新しいより複雑な対象に挑戦をして、それまでの技術の応用では対処 できない新たな課題が見つかって、さらにその中から普遍的なものがあらわれ体系化されて、制御 の考え方、制御工学というものが発展しつづけているわけです。

特に3つほど取り上げてみましたが、最適制御という考え方。これはロシアのポントリャーギン の最適制御理論として知られています。それからカルマンの現代制御理論。この2つは、かなりモ デル、対象の正確な記述というものを非常にうまく使った制御の方法ということになっています。 もちろん現代制御は、モデルにわからない部分が多少あっても対応できますが、基本的にはモデル ベースの制御です。したがって、実際の応用を考えると、なかなか難しい問題も出てきます。そこ で登場したのがロバスト制御という考え方です。モデルには不確かさがあるということを前提にし た制御の体系です。この中で、特に、最も基本的な問題であるロバスト安定化という問題がありま すが、これを世界で最初に完全に解決されたのが、ここにいらっしゃる木村先生です。

制御システム分野の系譜(貢献)

- 人工物の生産システム:製鉄プロセス、半導体製造プロセス、化学プロセス、 工作機械(ナノレベル精度)、・・・
- 人工物・人工物システム(消費製品):
 家電、ハードディスク、自動車{エンジンの電子制御、AT、ABS、トラクション制御、アクティブサスペンション、・・・}、
 航空機、ビル{空調、・・・}、建造物のアクティブ免振制御、
 鉄道、建設機械、ロボット、・・・
- · 極限{宇宙開発、海洋開発、···}、軍事·防衛、···
- ・社会・経済、環境・エネルギー、健康・医療、・・・

7

さて、このような制御分野の発展の中で、社会にどのような貢献をしてきたか。これはたくさん ありますが、4つに分類して、少し例を挙げてみました。

まず生産システムでは、例えば製鉄プロセス、半導体製造プロセス、化学プロセス、それから工作機械などがあります。特に、最近はナノレベルの精度を要求されるような機械の中で、制御の考え方や手法が貢献しています。

生産システムでは、我々消費者が実際に手に入れる様々な製品で、特に最近、制御が重要な役割を果たしていることが注目されています。自動車の例は大変有名で、最近トヨタの問題も出ていますが、逆に言うと、制御が大変重要だということが、あの事件から明らかになってきたのではないかと思います。それから家電――例えば私の経験で言いますと、デジカメの揺れの防止ですね。あの中に、オブザーバという現代的な制御が使われています。それから極限という呼び方がふさわしいかどうかわかりませんが、宇宙開発、海洋開発、軍事・防衛というような中でも、もちろん制御は貢献していて、この辺の課題の中で制御工学が応用され、それが逆に制御工学の発展の契機になっているという面もあります。

さらに、最近では社会・経済――経済で制御というのは昔から言われていますが、最近の社会現象、いろんな社会システムの中でも制御の重要性が認識されており、実際に貢献が始まっています。 それから環境・エネルギー、つまり今日の話題です。健康・医療というのは、対象を理解して、それに対して処方をする、これは制御そのものです。そういう視点で制御の貢献が徐々に期待されつ つあるのではないかと思っています。

それから、ここで一番上に示した人工物の生産システムは、制御が役に立っているということが、 我々の目になかなか見えなかったのですが、真ん中にある消費製品になると次第に見えるようにな ってきた。今後は、下の社会・経済等々のところが重要な課題を含んでくるのではないかというこ とで色をつけております。

日本における特徴的なこと

- 世界に先駆けて、大学ではシステム工学科、 制御工学科、他が設置されたが(1960年~1970年) 次第に、要素技術を重視する教育組織への 回帰・再編が進んだ。
- 実システムの先端制御応用において世界を リードした時期がある。その後停滞した。

木村: 第1回 システム科学技術推進委員会資料

ものつくり偏重の視点からの評価? 知財としての認識がなかった?

ここで少しわき道にそれますが、日本におけるこの分野の特徴に触れたいと思います。制御工学 が日本に入ってきたのは、これは間違っているかもしれませんが、多分、戦後だと思います。実際 に工学部の教育の中で、制御工学という科目がカリキュラムの中にちゃんと入ってくるようになっ たというのも、戦後しばらくたってからだと思います。その中で、この時代に日本の大学は、世界 に先駆けてシステム工学科、制御工学科というものを設置しています。これは思い出しますと、第 1次の高度経済成長のときに、確か、伝統的な工学部の教育を見直そうという機運があったと思い ます。その中で、もうちょっと基礎に、ベーシックエンジニアリングという考え方があったと思い ますが、そういう中での考え方をベースにして、こういう学科がつくられたのではないかと思いま す。

これに合わせて――この成果と言ってもいいかもしれませんが、我が国は、実は、実システム の先端制御応用というところで、世界を、ある意味で非常にリードした時代があります。制御の応 用ということになると、必ず、日本から何か話をしろというような声がかかった時代があります。 その後、こういうものは、ここに書いたように、次第に回帰・再編が進んでいるというようなこと、 あるいは、その後、それほど注目されなくなった――これがどんどん発展するという形にはならな かったという時代があります。これは、ものつくり偏重の視点が強過ぎたのではないかとか、知財 としてこういうものを認識することが少し足りなかったのではないかというようなことも考えられ ます。

制御システム分野の現状

制御システム分野における「現代の 邪悪なるもの」との戦いのターゲット

人工物、社会・経済、環境・エネルギー、健康・医療、・・・

- ・ システム(制御対象)に要求される機能が高 性能化・高付加価値化している。
- ・ システム(制御対象)が複雑化している。単体 からネットワークへ

さて、以上を踏まえて、少し現状をお話ししたいと思います。吉川先生の言われた「現代の邪悪 なるもの」、これはシステム科学に対する課題ですが、それに対して、特に制御システム分野という 視点から、これを眺めた場合に、どういうふうに考えたらいいだろうかということで、少し、私な りに整理をしてみました。先ほど申し上げたように、制御工学の対象になるのは、消費者に直接渡 るような製品の中で、制御というものの役割が出てきている。それから、こういう社会、環境、健 康というようなところのシステムの中に、さらに浸透しつつあるということです。

そういう中で、システムに要求される機能が高性能化・高付加価値化しているということがあり ます。一つの製品を高性能化・高付加価値化するという方向に対して、どんどん、我々はそれを進 めることができるわけです。ただ、これが非常に組み合わさってくるというわけです。制御の方法 自体が複雑化しているということもあります。

結局は、ある局所的な要素の最適化は目指すわけですが、システム全体として、それがいいもの かどうかということから出てくる、いろんな問題があります。それから、たくさんのサブシステム 間で、ただそれぞれが勝手に制御をやるということになると、目的相反、干渉というようなことで、 大きな問題が出てくるというふうに考えていいのではないかと思います。

ちょっと簡単過ぎる分析かもしれませんが、「現代の邪悪なるもの」への戦いのポイントになると ころとして、制御システムにとってはこういう問題に、本当にちゃんと対処しているかどうかとい うことが突きつけられているのではないかと思います。もちろんこれまでも、今までの考え方、新 しい方法を取り入れながら、対処はしてきているわけですが、多分、十分ではないということで、 今、いろいろな問題が起きているのだろうと思います。

制御システム分野の現状

- ・ システム(制御対象)に要求される機能が高 性能化・高付加価値化している。
- ・ システム(制御対象)が複雑化している。単体 からネットワークへ
- 大規模・複雑化が進み、これまでの制御やそ の単純な組み合わせでは対応できない。



新たな制御システム科学技術の要請

繰り返しになりますが、要するに制御対象の大規模・複雑化が進み、これまでの制御やその単純 な組み合わせでは対応できなくなってしまっています。やはり我々制御システム分野は、こういう 問題を解決するということに挑戦しないといけないのではないかというのが、今日の分析でありま す。

制御システム分科会の活動

- 第1回分科会(2010年2月)
 - 「制御の未来」
 - ー制御システム分野の現状把握
 - ー抽出テーマ/領域: 環境・エネルギー/バイオ・医療/人間・社会
- 第2回分科会(2010年4月) 「グリーンイノベーションに向けた制御システム工学の課題」
- 第3回分科会(2010年6月)(予定) (ライフイノベーション)「医療・医療システムのための制御シ ステム工学の課題(仮)」

こういう現状認識を踏まえて、制御システム分科会での活動を始めています。これまで2回ほど、 実際に開催しました。

第1回は「制御の未来」ということで、先ほど述べたようなことを含めて現状認識をし、それか ら「現代の邪悪なるもの」を具体的に絞り出そうということで、どんなテーマ、領域があるだろう かということで出てきたのが、環境・エネルギーの問題、それから、医療の問題です。そして人間・ 社会ですが、これは実は両方に関係します。したがって、これを単独に扱うべきかどうかというの は、我々としてもまだ悩んでいるところですが、こういう3つの問題が確かにあって、非常に大事 である。環境・エネルギーはグリーンイノベーションに、そしてバイオ・医療はライフイノベーシ ョンという形で、今、基本政策の中に入っているわけです。

第2回は「グリーンイノベーションに向けた制御システム工学の課題」というテーマで議論をい たしました。

第3回はまだ予定の段階ですが、「医療・医療システムのための制御システム工学の課題(仮)」 ということで考えております。こういう書き方をすると、医療機器の分野で何か課題を見つけるの かというふうに考えられるかもしれませんが、そうではなくて、生体という大規模・複雑な対象を システムとして扱い、いい解決、いい医療につながるような貢献が何かできないかということを考 えています。

第2回制御システム分科会

- 1.「スマートグリッド-実用化に向けたNEDO の取り組み-」 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 諸住 哲 氏
- 2.「都市環境・スマートシティ」 横浜国立大学大学院環境情報研究院 鳴海 大典 氏
- 3. 「エネルギーマネージメント・スマートハウス」 (株)日立製作所 スマートシティ事業統括本部 安東 宣善 氏
- 4. 「エネルギー技術分野からのシステム制御技術への期待」 ㈱東芝 電力・社会システム技術開発センター 飯野 穣 氏

これが第2回制御システム分科会の内容です。スマートグリッド、スマートシティ、スマートハ ウスというような階層で議論を行い、この後お話しされる飯野さんにまとめをしていただきました。

制御システム分科会の活動

• 分科会委員:

原 辰次(東大), 藤田政之(東工大), 橋本秀紀(東大), 足立修一(慶大), 杉江俊治(京大), 池田雅夫(阪大), 三宅美博(東工大), 高橋桂子(JAMSTECT), 山本義春(東大), 舩橋誠壽(日立), 橋本浩一(東北大), 畑中健志(東工大), 三平満司(東工大), 内田健康(早大),

分科会の委員は制御分野からが多いのですが、先ほど言いましたように、システムの分野の専門 家、環境の専門家、バイオ・生体の分野からの参加者、それから人間、ヒューマンインターフェー スの人を含めた形で分科会を構成しています。

<スライド非掲載>

具体的な話に関して、4枚ほどスライドを用意しました。これはグリーンイノベーションに関す る第2回の分科会で発表された諸住さんの資料の一部です。今問題になっているのは、既存の安定 したシステムの中に、ある意味外乱になるようなものを強制的に入れないといけないということで す。ここでは電力システムを例に挙げていますが、今ある電力システムの中に、再生エネルギーを 強制的に入れる。さらに、これは需要者サイドですが、こちらでも、それぞれの家庭の中でエネル ギーをつくり出そうということが起こりつつある。それから、電気自動車というものが入ってくれ ば、いろいろ外乱にもなりますし、電気自動車自身もエネルギーを貯蔵していますので、そういう ものを含めて考えないといけなくなるだろうと言われています。これまで、右上の供給側だけにつ いて安定な電力システムを考えればよかったものから、さらに需要者サイドも含めた、双方の関連 の中で、これ全体をうまくコントロールしないといけないというわけです。また、一つ注目したい のは、電力エネルギーシステムは、自然現象と経済原理の混在するシステムとしてとらえざるを得 ないだろうというわけです。私なりにまとめると、そういう視点、課題が第1回で挙がってきたよ うな気がします。

このスライドは第1回の話で、ライフイノベーションの方に関連しますが、生理学的な、循環調 節系のモデルを、山本委員が紹介されたものです。これはある一部分だけを取り出してモデル化し

たものですが、部分的な循環器という問題だけみても、生体が非常に複雑なシステムとしてでき上 がっているということがよくわかります。もちろん、生体は内部にもともと制御という仕組みを持 っていますが、例えば異常が発生したとき、あるいは環境が非常に変わったときに、それに対して、 やはり何か入力を決めて、そのコントロールをしないといけなくなる。それが治療ということにな るわけです。モデルという視点から考えて治療をするという方向の中で、制御の貢献というものが 考えられるというのが、このスライドの提案です。

一つ例を挙げると、有名な話ですが、ホメオスタシスというのがあります。元来生体に備わって いる制御のループで、環境が変わってもそこで上手に調整が進んで、恒常状態を維持できるという 仕組みですが、さらに大きな異常が来ると、実はそのホメオスタシスのループを切ること自体が治 療につながるという、非常に複雑な、難しい問題が、特にネットワークとして考えると、含まれて いるということがわかります。

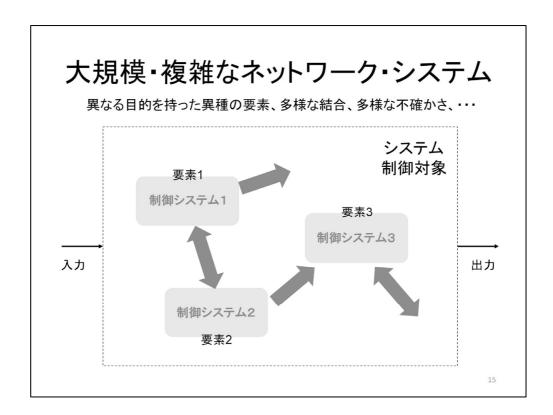
このスライドも第1回の資料の中から参照しているものですが、細胞の中の信号の流れを模式化 したものです。生体の話は、細胞レベルで見ても大変複雑なシステムです。エレメントごとにロバ スト性を上げるということをやっても、全体として見ると、実はそんなにロバスト性が上がらない という、非常に矛盾したようなことが実際にあります。生体が、DNA、RNA、Protein という形の 階層化を通して、うまくロバスト性を保っていることをシミュレーションベースで探求している研 究の例です。

制御システム分野の課題

- グリンーイノベーションに向けた課題抽出:
 - ○低炭素社会、都市環境向上、快適な生活 を実現するための、経済システムと結合した エネルギーシステムの制御、・・・
- ライフイノベーションに向けた課題抽出(未):
 - ○医療のための制御システム、
 - ○制御システムとしての生物・生命の制御論 理・制御アーキテクチャの解明、・・・

14

さて、まとめますと、第1回、第2回の話を通して、グリーンイノベーションに向けた課題としては、低炭素社会、都市環境向上、快適な生活を実現するための、経済システムを含めたエネルギーシステムの制御ということを、何とか考えないといけないのではないか。それから、ライフイノベーションに向けては、これはまだ今後開く分科会で課題抽出していきますが、先ほど言いましたようにシステム医療の話、それから制御の仕組みをまず調べるというようなこと、特にミクロのレベルからやるというようなことも必要だろうと思います。まだ、分科会で議論をして完全に詰めたという状況ではありませんが、これが現段階の私の考えです。



もう一回まとめますと、もう一度戻りますが、「異なる目的を持った異種の要素、多様な結合、多 様な不確かさ」を持ったシステムを、何とか制御していかないといけないだろうということです。

制御システム分野の課題

- 大規模、複雑、膨大な不確さを持つネットワーク・シ ステムが制御対象
- 制御に要請される機能:

直接的機能:目的の達成

間接的機能:安定性、ロバスト性、適応性、・・・の達成

新しい機能:

異なる目的を持つ要素間の合意形成、 局所的機能と大域的機能の整合、・・・の達成 (要素間の関係性の制御)

最後に、共通した課題をまとめておきますと、大規模、複雑、膨大な不確かさを持つネットワー クシステムが制御の対象になるだろうということです。まず、システムに要求される目的を達成し ないといけない。それから、それを達成するためには、当然、安定性を保持する、ロバスト性を向 上させる、適応が必要であればそういうものを含めるというようなことをやる必要がある。さらに ポイントになるのは、異なる目的を持つ要素間の合意形成というような新しい方式を検討していか なくてはいけない。それから局所的機能と大域的機能の整合、そういうものを達成するような制御 を考えなくてはいけない、すなわち、要素間の関係性を含めて制御するという点です。

大きな課題を与えられたので、うまくまとめられたかどうか心配ですが、以上で報告を終わりま す。

<質疑応答>

〇古田

最初の制御の定義で、目的を達成するということがありました。古典的な枠組みでは、目的とい うのは最初に given ですが、今の状況というのは、目的が最初にはよくわからないけれど、システ ムを運用している間に決まってくることが多くある。最後に合意形成の話も出ましたが、創発的に 目的があらわれてくるようなシステムの制御というのは、今、制御の世界では、やはり議論が始ま っているのでしょうか。

〇内田

私もあまり詳しくはないのですが、実際に何か目的を達成するために制御をするという形ではな くて、全体として安定になればいいというような研究はあります。安定というのも目的になるとす ると、ちょっとそこは言いようがないのですが。例えば、生体の1個1個の要素は、血圧を一定に したいとか、血糖値を一定にしたいというようなコントロールをそれぞれにしているわけですが、 人間が生存するという大きな目標を持っています。どの要素も生存するということにつながってい るので、どこかで合意形成がなされるわけです。我々が最初から知っていないだけで、目的という ものがやはりどこかにないと、それはシステムではないのではないかというふうに私自身は考えて います。

〇出口

大規模、複雑、云々ですが、結局、対象のモデルがあるというところを出発点だと考えているよ うに思います。そうすると、モデル化――モデルをどうやってつくるかという技術とペアになって いないと、この制御技術の発展云々は語れないということでよろしいのでしょうか。それから、そ れならば、そのモデリング技術そのものは、どう発展して、どうやっていけばいいのか、その辺を お伺いしたいと思います。

〇内田

古典的な制御では、モデルを使わない、調整レベルの制御もあります。モデルがあれば、調整が システマティックにできるということなので、モデルがないと制御の話は進まないかというと、そ ういうわけではない一面もあります。例えば、PID 制御などは、対象があって、それに基づいて調 整をしてやるわけです。

モデルに対する考え方自体も、制御分野の人間全員で共通しているとは言えないと思いますが、 私は、きちんとした明確な――例えば状態方程式がなくても、何らかの記述があればモデルである と考えています。入力と出力の関係でもいいし、入力と出力のデータが山のようにあるということ であれば、データからいわゆるモデルをつくり出すという過程があるかないかは別にして、データ 自身もある意味でモデルである。それを上手に利用すれば、新しい制御はできるのではないかとい うことも考えています。制御をやっている人たち全員の賛同を得られるかどうかはわかりませんが。

もちろん、モデルが大事だということはおっしゃるとおりで、そこにかかっていると言ってもい いかもしれません。モデルリング分科会に非常に期待しているところです。

○原山

初めて伺った分野ですので、定義なども非常に興味深いのですけれど、この中で、システムその もの、対象となるものは、given なものとして取り扱っていらっしゃるのか。それはかなり抽象的 なものであって、いろんな分野に関して、ある種の普遍的なモデル、モデル化ということを目指し ていらっしゃるのかというのが一つめの質問です。

もう一つは、グリーンイノベーションとライフイノベーションをターゲットとして、というふう にお話しされましたが、グリーイノベーションをとった場合には、その対象となるシステムをどこ に設定して、いわゆるコントロールすることを目指していらっしゃるのか。その辺がちょっとわか らなかったので教えていただきたいと思います。

〇内田

後半の方からお答えします。グリーンイノベーションの中で、例えば課題が与えられたら、それ に対してきちんとした解答を与えることのできるような方法をつくろうというのが、もちろん最終 的な目標です。ただ、実際にそういうものをつくり出すためには、グリーンイノベーションの中で 持ち上がっているような個々のいろいろな問題を定式化して、解決をするということをやらざるを 得ない。その中から、次々、いろいろな方法が出てくるのではないかと思います。それを普遍化す ると、また別の新しい問題に使えるというふうな、そういう考え方を持っています。

例えば、実は私自身、風力関連の研究も少しやっていますが、風力の蓄電池のコントロールを、 風力という一定の要素に着目してうまく制御する。そういった課題がたくさんあります。それらを 解決しながら、全体としてどういうシステムをつくり上げればいいかということを、まずやらない といけないのではないかと思います。その中で、これが環境・エネルギーという、ある特別なシス テムに対する新しい制御の方法ができる。

課題を解決することが先決ですが、制御の理論をやる側からすると、実際の問題を解決しながら、 これまでの方法で抽出をし、さらにそれを使って新しい問題に挑戦していくということをやる中で、 新しい方法が出てくるのではないかというふうに思っています。まずは挑戦することが大事であり、 具体的な問題からやらないといけないのではないかと思っています。

〇三平

補足の形で発言させていただきます。言っていることは同じになると思いますけれど、グリーン イノベーションに関しては、いろいろなシステムがありますが、ただ単につくればそれでいいとい うものではなく、それを運用して、望ましい形に動かさなければいけないという点で、制御という 概念が非常に大切だと考えています。ただし、既存の制御という概念でそのまま対応できるところ もあるし、できないところもあると思います。我々制御を中心にやっている者は、どのような形で 発展していかなければならないのか、これから考えていかなければいけないところですので、その 意味で、これをこういうふうにやりましょうということは現時点で言える状態ではありません。全 体にある中から、これが制御の問題にうまく合致して、それに対してうまく動ける、そういうもの をいくつか出していかなければいけないという、そういう状態ではないかというふうに思っていま す。

それから、原山先生の1つ目のご質問に関してですが、制御という立場で我々は何を考えている かといいますと、一般には制御理論という形でやっていますので、制御の体系を何とかしていこう というのが中心です。しかし、実はそれをやっているだけでは、我々も制御という枠組みから全然 出ることができなくなってしまうというふうに思っています。そのときに、我々が何をやらなけれ ばいけないかというと、制御というのは、もともといろいろな縦型の分野があります。例えば内田 先生が言われたガバナの話とか、いろんなプロセス制御というもの――機械系、化学系、電気系と いった縦型の分野の中で、それぞれに発展してきたものを抽象化し、制御理論という体系になった ものがあるわけです。やらなければいけないのは制御理論だけではなくて、縦型の中にあるいろい ろな制御の芽というものを抽象化して持ってくるということもやらなければいけないというふうに 思っています。同時に、制御という理論の体系化ができた場合には、今度はそれを縦型の分野へ還 元していかなければいけない。つまり、課題抽象化の部分、それから制御の部分、そして、その制 御をまた縦型分野に還元する部分、その3つが全部そろって、すべてが整うのではないかと思って います。

3 つのうちの 1 つの課題抽象化の部分で、グリーンイノベーション、ライフイノベーションとい う課題は非常に新しい概念を供給してくれると思いますので、その辺で我々の分野も発展できるよ うに、そういうふうにやっていきたいというふうに思っています。

○原山

先ほどの質問の趣旨は、システムそのものも、その制御の仕方が変わることによって変革するも のであって、そうすると、持ちつ持たれつで動いていくものかという印象を持ったので、その辺を 確かめたかったわけです。特にグリーンイノベーションの場合には、システム自体がまだ成熟して いないものがほとんどである。ということは、given なものに対してのコントロールと違って、こ のように動きつつあるものというのは非常に複雑になってくるし、かつ、おたがいにうまく連携し ないことには、よりよいものが出てこないという印象を持ったものですから質問をさせていただき ました。

○三平

そのとおりだと思います。我々も、それに合わせていろいろ変わっていかなければいけませんし、 共同作業というものが非常に大切だというふうに認識しています。制御の分科会でも、対象となる 側の専門の方をお招きして、一緒に議論しながらやっていくということを開始しています。

お話を伺っていて、余り新しさを感じませんでした。今いろいろと、制御の定式化や普遍化といったことをやろうとされているけれども、多分そこからは何も出てこないと思います。それほどに制御というのは、もう、成熟しているのではないか。

それから、「制御システム」という言葉を使われていますが、「制御システム」と「システム制御」は全く違うものです。発表資料の後半は、「システム制御」になってきていると私は感じますが、「制御システム」と言われると、旧来の、フィードバックとかフィードフォワードとか、そういう感覚でとらえられがちです。これからは、例えばスマートグリッドなどがいい例ですが、システムにセットされた目的に向かって、どうやって合格になれる制御をするかということが課題となります。そのときには、どう全体を分けるか、おのおのどういう制御をしたら全体が目的にほぼ近くなってくるだろうかという技術が必要だと思います。最適解は、多分得られない。

いかに近く満足できるものを、いかに早く、安く、あるいは、エネルギー効率を高くとか、炭酸ガスの問題とか、そういうものも付加して考えながら、システムをどう分割・制御し、目的に近いものにしていくか。いろんな方々が期待している新しい分野は、そういうものではないかと思います。提案ですが、こういったことについて議論の余地があれば、私は大いに参加したいと思いますし、是非そうしていただきたいと思います。

〇内田

最後のスライドに、新しい機能ということで、おっしゃったようなことをやるべきだということ を書いたつもりではあります。ありがとうございます。

○桑原

そうですね、書かれていますね。だからオリジンはシステム制御になっている。

〇内田

我々にとっては、そこが問題だ、と。それから、一つだけいいでしょうか。「制御システム」という用語は分科会名称として与えられたものでしてそのまま使っていますが、「システム制御」の方が、今おっしゃったような意味で使っていると思います。

〇三平

分割ということに関しては、ある先生が、グローバルをローカルでという話で、グローカルという形でフォーメーションしようということを言われていて、そういう話は、今、制御の中でも少し始まっているということだけコメントさせていただきます。

3.2 三平満司先生ご講演記録

「制御」の横断性と 研究費配分

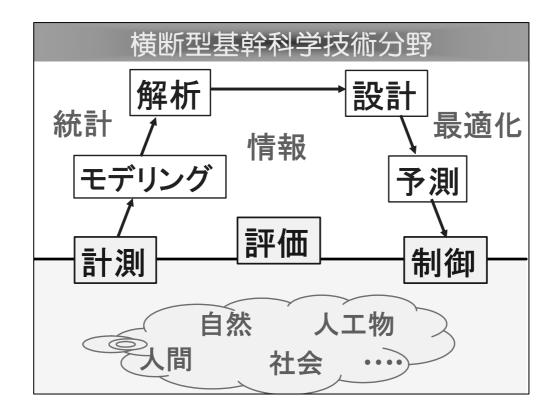
東京大学 情報理工学系研究科原 辰次

東京工業大学 理工学系研究科 三平 満司

東京工業大学の三平です。「制御の横断性と研究費配分」というタイトルで、制御に関するファンディングがどうなっているかについて、少し分析したものをご報告いたします。内容は、東京大学の原辰次先生が中心となってまとめられた日本学術会議等の報告2を抜粋したもので、制御分野が横断型基幹科学技術分野の中にあるという観点からファンディングの分析を行ったものです。本日は、原先生の御都合がつかないということで、私が御説明をさせていただくという形になっております。

²横断型基幹科学技術としての制御学の役割

⁽http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1031-14.pdf)



この場では詳しい説明は必要ないだろうと思いますけれども、制御――もちろん、このシステム 科学ユニットで考えている分野というのは、ある種の横断型の分野であるというふうに考えていま す。それには、いろいろな縦型の分野になるような、物を中心とした科学技術の発展というのがあ ります。もちろん、人間、自然、社会、それから機械等、多様な物を対象にした科学技術がいろい ろ発展してきているわけですが、実は横断型というのは、その中の縦型分野というものに余り依存 はせず――もちろん依存するわけですけれど、その縦型分野に、それぞれのいろんな縦型分野に関 連を持つような、そういうふうな横型分野という形で我々は考えています。その横型分野というの は、ただ単にいろんな縦型分野の中にあるものを寄せ集めたというだけではなくて、またそれが発 展して、一つの横型の研究分野という形で一つの体系化を持っている。それが横断型基幹科学技術 分野であるということで定義しようというふうに考えています。

先ほどの質疑応答のときにもお答えしましたけれど、基本的には縦型分野の中から、制御である とか横型の科学技術の芽というものを摘み取ってきて、それを横型分野という形で発展させていく。 それがまた、縦型分野、または新たな人工物という形で、新たな物を創造していくような形になっ てくるといい、そういうふうな考え方で、この横型分野というふうに考えています。

成果報告書におけるキー

平成15年度科学技術振興調整費 に採択された研究課題

表1は、研究分野別のキーワード検索のヒット数を示 したものである。上半分が制御を始めとする横断型の キーワードを下半分が重点領域のキーワードをまとめた ものである(情報は両方に関連するものであるので、真 ん中に配置されている)。

制御、計測、システム、モデルといった横断型のキー ワードが重点領域のキーワードと同等の数で使われてい ることが分かる。

		JST	振興調整費	振興調整費	振興調整費	振興調整費
	研究分野		研究課題	研究課題	成果報告書	成果報告書
			(研究項目)	(全文)	(全文)	(キーワード)
構	制御	2701	36	142	329	199
横断	計測	1249	14	70	272	142
型	システム	2610	94	207	404	255
	モデル	1401	60	149	379	207
	情報	2769	41	199	444	253
=	ナノ	1086	29	75	89	51
重点	環境	1963	29	162	385	233
紹	バイオ・生命	1916	24	123	120	46
領域	材料	2242	16	109	315	239
	遺伝子	1407	44	105	143	86

次にお見せするのは、この横型分野というものが、ファンディングという形、研究費配分という 形で、今、どのような状況にあるか。また、ファンディングというものを見ると、こういう横型分 野というものが、どのように認識されているかというのがわかるだろうということで、この資料が まとめられています。

まず、最初にお見せする表は、平成 15 年度の科学技術振興調整費に採択された研究課題――振 興調整費で採択された研究課題から、研究分野別のキーワードを検索して、そのヒット数を示した ものということです。上の方が、制御を初めとする横断型。下部が重点領域のキーワードという形 です。情報というのは両方に属するので真ん中に配置されているという形になっています。

研究分野の中で、横断型の分野として制御、計測、システム、モデル、情報がある。重点領域と して情報、ナノ、環境、バイオ・生命、材料、遺伝子という形で、研究分野というものを考えてい ます。これに関して、いろんなところから、研究課題や研究項目、研究課題の全文、成果報告書の 全文、成果報告書のキーワードというようなものを、例えば「制御」というキーワードがどれくら いヒットするか、「計測」というキーワード、「システム」というキーワードがどれくらいヒットす るかということをあらわしたものが、ここの部分ということになります。

この資料で何が言いたいかというと、例えば制御、計測、システム、モデルというものを考える、 こういう横断型のもののキーワードというのは、実は振興調整費の中で非常に多く使われています。 その、使われている比率というのは、実は重点領域のキーワードが出てくるものと、ほぼ同等、ま たはそれ以上という形でキーワードとして出てきている。その意味では、この横断型の技術という のが、やはり研究分野としても非常に大切だということを如実に示しているというふうに考えられ ると思います。ちょっと戻りますと、制御、計測、システム、モデルといった横断型のキーワード が、重点領域のキーワードと同等の数で扱われている、それなりに研究として進んでいる分野だと いうふうに考えることができます。

表2:成果報告書におけるキーワ

平成15年度科学技術振興調整費 に採択された研究課題

表2は、それらの成果報告書に現れるキーワードと科 学技術振興機構が定めた学問領域との関係を示したもの である。横断型のキーワードの研究分野(特に、制御、 システム、情報)は多くの学問領域と接点を持っている ことが読み取れる。

これは、それ自身の領域との関連が薄い重点領域の キーワードとの大きな違いである。また、横断型のキー ワードの研究分野は「先端的基礎」との関わりが一般に 強く、まさに横断型基幹科学技術の役割を果たしている ことが理解できる。

	振興調整費成果報告書(キーワード)								
研究分野	合計	物質	ライフ	情報	先端的	海洋科 学	地球科学	防災安 全	その他
		材料系	サイエンス	電子系	基礎			対策	
制御	199	44	31	4	24	1	2	5	88
計測	142	2	2	2	11	0	7	14	104
システム	255	20	4	8	14	5	30	10	164
モデル	207	25	5	2	3	13	28	34	97
情報	253	16	8	23	6	5	37	8	150
ナノ	51	14	0	1	10	0	0	0	26
環境	233	60	12	4	0	5	11	7	134
バイオ・生命	46	8	7	0	2	0	0	1	28
材料	239	115	0	7	21	0	0	6	90
遺伝子	86	3	23	0	0	0	0	0	60

表2は、制御を含む横断型のキーワードが本当に横断的かというのを、ファンディングの状況か ら見てみたものです。成果報告書にあらわれるキーワードと、科学技術振興機構が定めた学問領域 との関係を示したものとなっています。縦に、横断型のキーワードと重点領域のキーワード、横に 学問領域を並べて、その学問領域の振興調整費の成果報告書の中に、それぞれのキーワードがどれ くらい出てきているかというのをまとめたものです。

我々が「横断」というふうに言っている部分に関しては、確かに横断であって、材料系、ライフ、 情報・電子、先端的基礎、海洋科学、云々という、いろいろな学問分野に含まれているということ がわかります。それに対して重点領域は、基本的に、ある意味で、物、縦型分野という形になって いますので、自分たちの分野のところにはキーワードが並ぶけれど、ほかのところはほとんどゼロ になる形になっています。横断型のキーワードの研究分野、特に制御、システム、情報というのは、 ただ単に一つの分野で研究されているというわけではなくて、多くの学問領域と接点を持っている ということが読み取れると思います。

それからもう一つ、この中で非常に興味深いのは、横断型のキーワードというものが、先端的基 一礎というものと非常にかかわりが強いということです。先端的基礎というところを見ていただくと、 材料を除けば、重点領域は先端的基礎というところに関しては余り多くない。それに対し、横断型 の研究分野というのは、先端的基礎に数多く入っています。これは、従来の縦型分野でやってきた ことだけではある種の行き詰まりが見えてきていて、それに対して、横断型の分野というものをう まく入れていくことにより、新しいものに持っていけるのではないかという期待があることが読み 取れるのではないかと考えています。その意味で、先端的な基礎になるような新たな研究の発展の 方向を考えるためには、ただ単に縦型をやっているだけではなく、横断型分野が必要ではないかと いうふうに思っています。

表3:科研費採択研究課題と「制御」

表3は、過去5年の科学研究費のすべての採択課題の 中でその課題名に「制御」が含まれていた数と、「電気 電子工学・制御工学」および「機械工学・機械力学/制 御」の全採択課題数をまとめたものである。「制御合 計」の欄は、「機械工学・機械力学/制御」において、 全体の8割が「制御」で2割が「機械力学」と仮定した 場合に、「制御」という研究分野で採択された課題数の 合計である。

青字の値と赤字の値を比較すると、約20倍の違いが ある。これは、「制御」の分野横断的性質を顕著に表し ているデータと言える。ただし、制御以外の分野では、 「制御」という言葉は大変魅力的で、単に「操作する」 という意味で使われていることが多いと思われるので、 その内容も吟味する必要はある。

年度	全研究分野	電気工学制御工学	機械工学 機械力学 制御	制御合計
2009	1774	58	40 (50)	98
2008	1755	43	39 (49)	82
2007	1647	58	43 (54)	101
2006	1660	67	38 (48)	105
2005	1735	55	44 (55)	99

全体の8割が「制御」、2 割が「機械力学」と仮定

この資料は、少しわかりづらいところがあるかもしれませんが、制御分野が横断型であるという のを示しているものです。科研費の分類では、電気電子工学の中に制御工学という領域があり、同 時に、機械工学の中にも機械力学/制御という領域があります。制御のプロパーな研究者は、電気 の方に出したり機械の方に出したりという形になります。過去5年間の科学研究費のすべての採択 課題の中で、その課題名に「制御」が含まれていた数。つまり、ある種、制御にフォーカスしたも のの数と、制御プロパーで、制御を中心に研究している方の研究課題の数。電気工学の中の制御と、 機械工学の中の制御。機械工学の方は、機械力学/制御という形になっていますので、全部が制御 ではないだろうということで、一応、制御が8割、機械力学が2割という多く見積もった仮定で示 しています。

制御プロパーとして研究していると考えられる合計が右端の赤字ですが、制御プロパーとして研 究しているのはこのくらいだけれども、ほかの分野の中で制御という概念が必要になって、それを 含めた形で研究している数が非常に大きく、約 20 倍という形になっているということがわかりま す。

制御というのは、制御プロパーで研究されているものが中心なだけではなくて、いろんな分野で 制御というものが研究されている。実は、そこで考えられている制御というのは、我々が普通に考 えているようなオーソドックスな制御ばかりではなく、その対象それぞれの新たな制御というのが、 ここで芽生えているということが考えられます。また同時に、制御が非常に横断的なもので、制御 という枠組みだけに限っていないということを示しているというふうに思います。

ただし、原先生がコメントされているところですが、制御以外の分野では、「制御」という言葉は 非常に魅力的になることがあり、ただ単に「操作する」という意味で使われることもあります。し たがって、これを100%という形で見ることはできないにしても、やはりいろんな分野で新しい制 御という芽があると言えるというふうに思います。我々制御をやっている者としては、こういう芽 をうまくまとめていって、体系化をして、そしてまた新たな形で還元するという形で研究を進めて いかなければいけないのではないか、そういうところを何かうまく持ってくることができればいい のではないかというふうに考えています。

研究費配分における研究分野の大きな偏り 新学術領域研究(研究領域提案型) 採択研究領域一覧(H2O, H21年度) に基づく現状認識 「理学系 and/or 材料・物性」 に大きく偏重 審査員の構成がそもそも 大きく偏っている(理学系 が2/3)?

いろいろな縦型分野に出てきているような芽を「制御」というキーワードであわせることによっ て、新たな分野を開拓できるのではないか。横断型科学技術をやっている方が特によく言われるの は、縦型の研究課題を見ているだけではいけなくて、横型も意識しましょう、ということです。横 型だけをやりましょうということではなく、縦型と横型を意識することによって、新しい概念を出 しましょうということだと思います。

では、新たな分野であるはずの新学術領域研究という研究領域提案型の採択研究領域を見てみる と、そういう形になっているかといえば、残念ながらそういうことはなく、理学系、材料・物質系 に大きく偏重しているということがデータから見て取ることができます。

【新学術領域研究(研究領域提案型)】 採択研究領域一覧(H2O)

【理工系委員会審査分】

領域番号	研究領域名	領域代表者	所属機関・所属・職
2001	重い電子系の形成と秩序化	上田 和夫	東京大学・物性研究所・教授
2002	高温高圧中性子実験で拓く地球の物質科学	八木 健彦	東京大学・物性研究所・教授
2003	半導体における動的相関電子系の光科学	五神 真	東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
2004	素核宇宙融合による計算科学に基づいた重 層的物質構造の解明	青木 慎也	筑波大学・数理物質科学研究科・教授
2005	ソフトインターフェースの分子科学	前田 瑞夫	独立行政法人理化学研究所・前田バイオ工学研究室・主任 研究員
2006	揺らぎが機能を決める生命分子の科学	寺嶋 正秀	京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
2007	高次π空間の創発と機能開発	赤阪 健	筑波大学・数理物質科学研究科・教授
2008	海底下の大河:地球規模の海洋地殻中の移 流と生物地球化学作用	浦辺 徹郎	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
2009	分子自由度が拓く新物質科学	鹿野田 一司	東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
2010	分子ナノシステムの創発化学	川合 知二	大阪大学・産業科学研究所・教授

10件のほとんどが、理学系 and/or 材料・物性

これは平成20年に採択された研究課題です。時間がないので細かいところは見ませんが、基本 的には代表者の所属等を見ても、物性、工学、理学、等々という形で、基本的には理学系のものだ けにファンディングがされています。理学系の研究の発展形が、新領域という形で認識されている のではないかと思われます。最後の課題は複合領域として採択されていますけれど、基本的には材 料系であって、それぞれの研究班を見ても、明らかに材料系という形になっています。

採択研究領域の領域代表者の研究分野

上田 和夫 (東京大学):物性|| (4305/4306)

八木 健彦 (東京大学):固体地球惑星物理学 (4401)

五神 真 (東京大学):物性 (4303/4304)

青木 慎也 (筑波大学):素粒子·原子核·宇宙線·宇宙物理 (4301/4302)

前田 瑞夫 (理化学研究所):分析化学 (4701)

寺嶋 正秀 (京都大学):物理化学 (4601)赤阪 健 (筑波大学):有機化学 (4602)

浦辺 徹郎 (東京大学):岩石・鉱物・鉱床学 (4406)

鹿野田 一司 (東京大学):物性II (4305/4306)

川合 知二 (大阪大学):ナノ材料・ナノバイオサイエンス (2102)

最初の9件の領域代表者の研究分野(最新の採択科 研費研究課題の申請分野)は、理学系。 最後の1件 だけ複合領域。ただし、やはり材料系(次ページ参照)

分科細目 番号

システム系はおろか、機械・電気・情報・土木等はゼロ!

/システムの創発化学 | の計画研究班

AO1 班:材料プロセスとデバイスデザインの創発的学理

- ・自己組織化のユニバーサリティ 山口 智彦(産総研)
- ・酸化物ナノワイヤ気液固(VLS)成長における創発現象 柳田剛(阪大産研)
- ・雑音とばらつきを有効利用する生体模倣情報処理 浅井 哲也(北大情報科学)

AO2 班: 高次構造創発

- ・多成分自己組織化のランドスケープ 藤田誠(東大工)
- ・界面における自己組織化と散逸ナノ構造 君塚信夫(九大院工)
- ・サブナノ金クラスターの構造・機能創発 小西 克明(北大院地球環境)

AO3 班: 長距離秩序と刺激応答の創発科学

- ・自己組織化による長距離秩序/巨大秩序の構築 相田 卓三(東大工)
- ・配向性集合体の形成過程に働くアロステリズム 新海 征治(崇城大工)
- ・らせん分子の動的構造制御と機能創発 古荘義雄(名大工)

AO4 班:自己組織化分子系の光·電子非線形応答と創発機能

- ・確率共鳴分子システムのための非線形応答有機分子ナノデイバス 小川 琢治(阪大理)
- ・分子ナノシステムの発光における機能創発 桑原裕司(阪大工)
- ・巨大分子ネットワークの電荷輸送 松本 卓也(阪大産研)

	【新学術領域研究(研究領域提案型)】 採択研究領域一覧(H21)				
	【理工系委員会審査分】				
領域 番号	研究領域名	領域代 表者	所属機関・所属・職		
2101	量子サイバネティクス - 量子制御の融合的研究と量子計算への展開	蔡兆申	独立行政法人理化学研究所・巨視的量- コヒーレンス研究チーム・チームリー ダー		
2102	医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度 化	小畑秀文	東京農工大学・本部・学長		
2103	原子が切り拓く極限量子の世界 - 素粒子的宇宙像の確立を 目指して-	笹尾登	岡山大学・教授		
2104	多彩なフレーバーで探る新しいハドロン存在形態の包括的研究	飯嶋徹	名古屋大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授		
2105	反応集積化の合成化学 革新的手法の開拓と有機物質創成へ の展開	吉田潤一	京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授		
2106	超深度掘削が拓く海溝型巨大地震の新しい描像	木村学	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授		
2107	配位プログラミング - 分子超構造体の科学と化学素子の 創製	西原寛	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授		
2108	地殻流体: その実態と沈み込み変動への役割	高橋栄一	東京工業大学・理工学研究科・教授		
2109	プラズマとナノ界面の相互作用に関する学術基盤の創成	白谷正治	九州大学・システム情報科学研究科(研究院)・教授		
2110	背景放射で拓く宇宙創成の物理 ーインフレーションから ダークエイジまで-	羽澄昌史	大学共同利用機関法人高エネルギー加i 器研究機構・素粒子原子核研究所・教持		

こちらは平成21年度分の新学術領域研究ですけれど、こちらもほとんどが理学系です。唯一、「医 用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援の高度化」というのがシステム系に近いところ ですが、それにしてもたった1件だけという形になっています。

H21新学術領域研究採択研究領域の分野

H21年度より少し改善:

「医用画像に基づく計算解剖学の創成と診断・治療支援 の高度化」の採択。しかし、大きな偏りは残っている。

中身が真の意味の「新学術領域」か疑問? 「量子サイバネティクス - 量子制御の融合的研究と量 子計算への展開」の計画班の研究分野は、以下に示すよう に、ほとんど同じ。制御の研究者は皆無。

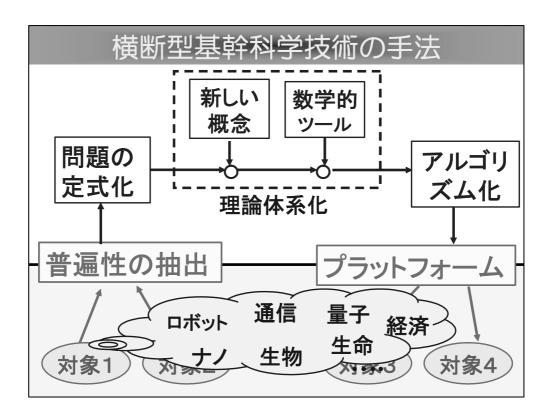
北川 勝浩 (大阪大学): 応用光学・量子光工学

高橋 義朗 (京都大学): 原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ 占部 伸二 (大阪大学): 原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ

竹内 繁樹 (北海道大学): 原子・分子・量子エレクトロニクス

小芦 雅斗 (大阪大学): 原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ

先ほども言いましたが、新学術領域は、確かに新学術領域と解釈できるものを持っているけれど も、基本的には縦型の同じような分野の研究者だけがまとまっているように思います。ここで考え られているものが本当に新学術領域なのか、基本的には理学系の今までの研究の延長ではないのか というのが、危惧されるところではないかというふうに思っています。



最後の図は、先ほどから何度かお話ししていることの繰り返しになりますので割愛させていただ きます。ありがとうございました。

<質疑応答>

○原山

振興調整費を分析する際に注意しなくてはいけないのは、振興調整費のもともとの趣旨が、総合科学技術会議の中でもって、流動的ないろいろな課題、また、これまでにやっていない課題に対してやる分野というふうな位置づけになっていることです。その中で大きなウェイトを占めているのが科学技術のシステム改革です。キーワード検索したときにひっかかってくるのが、ここで議論しているようなシステムという概念のものなのか、あるいは本当にシステム改革の中のシステムなのか。

また、システムというのは割と使いやすい言葉なので、単純に、余り深い意味を持たずに使っているようなものでも、キーワード検索してしまうとひっかかってしまう。そのウェイトづけというのは、なかなかできないのではないか。その他のデータが非常に多いというのは、その辺から来ているのではないかと思います。したがって、これらのデータからシステムが非常に重要だというふうに判断するのは、少し気をつけなくてはいけないのではないでしょうか。

〇三平

確かにそういう面もあるだろうと思いますけれど、一番見ていただきたいのは、やはり、どの学問分野に関しても、それなりにキーワードとしては出てくるという事実です。確かにシステムは非常に多いと思いますが、例えば、制御や計測というのは、いろいろな分野で横断型に研究されるものだという一つの根拠になればいいかというふうに考えています。それがすごく重いエビデンスになるかと言われれば、疑問だということに関しては、おっしゃる通りだと思います。

○桑原

横断型基幹科学技術というお話がありました。私ども産業界は、ここに何かがあってほしいと思って、会をつくってやっているわけですけれど、退会者がどんどん出て、存続さえ危ぶまれる状況にある。その一つの大きな理由が制御です。横断的に期待できる制御の技術に期待が持てれば、また会員をふやせると思うのですが。先ほどの延長になって恐縮ですが、制御理論と言われると、これはもうかなり成熟している。これからの問題を解くような、楽しみを抱けるようなものがあってほしいのに、それが思い浮かばない。ところが、さっき申し上げた、システム制御、あるいはシステム制御技術、あるいはシステム制御手法という定義をして、今までとは違って、例えば発電機の制御をするようなものではなくて、もう、社会システムを制御しようという方向がこれからの主体です。そうなったときに、制御というのが、がらりと衣がえをして、とんでもない大きな複雑系を、どうやってコントロールするかというところに、横軸と言える技術を普遍化できるかということが非常に期待されているわけです。

先生が最初に示された図(「横断型基幹科学技術分野」)では、上が横軸だと言われたわけですけれど、これの上にはそれが見えません。それを是非、何とか学の方で真剣にとらえて取り組んでいただきたい。それには、多分、先ほど話が出ていたように、まず目的を設定しなければいけません。目的というのは、複雑系においては千差万別です。例えば社会が要求する目的、国で要求される目

的。同じものでも違うと思うので、だから目的の設定をまずやろうじゃないか、と。その目的を、 付帯するほかの条件――エネルギー、炭酸ガス等、いろいろあるでしょうけれど、いかにしてそれ らに合わせて、どうやって最終的な、最適に近い近似解を求めるか。それには、どういう手法でや っていったらできるのか。これを是非、ねらってもらいたい。それについて、何か、魅力のあるワ ーディングを考えていただきたい。

〇三平

木村先生も後でお話しされると思いますが、私もまさにそのとおりだと思っています。今の制御 の枠組みから我々も踏み出さないことには、そういうことができない。今回の分科会を開かせてい ただいたことは、その意味で、非常に、我々にとっても刺激になったというふうに思っています。

原先生の別の分析の部分には、逆に、制御の研究者たちが他の分野の中に入り込んでいっていな いというようなものもあります。制御という概念を含めた領域はいろいろと立っているけれども、 立てている人たちはその分野の中での制御に凝り固まっているし、制御理論の研究者も自分たちの ツールに凝り固まっているから、一緒に協働ができず、新しいものができていないというような内 容です。

我々が今やらなければいけないのは、新たな枠組みをつくることで、そういう人たちともう一度 議論をして、おっしゃられたような大規模系とかそういったものに対し、どういうアプローチがで きるかということを考えなければいけないと思います。それに対して、制御理論分野が何も持って いないかというと、そうではなく、予測制御とか、ある種の最適のツールを持っていますので、あ る程度は対処できることがあると思います。それを足がかりにして、もっとやらなければいけない こと、先ほどのグローカルの話もそうですけれど、新たな枠組みを議論していきたいというふうに 思っています。

○桑原

今のコメントは拍手もので、是非そのようにお願いしたいですね。

○木村

今のような御意見こそお伺いしたかったことです。ここにおられる制御の先生方、そしてもっと 若い研究者が、今盛り上がってきていますので、先ほど桑原先生がおっしゃったような脱皮は、必 ず可能だろうと思っています。

〇出口

制御分野の方は、先生方の学問としてはわかるのですけれど、モデリングや計測といった辺が何 となくおかしいように思います。計測してモデリングというのではなく、計測というのは、そもそ もモデリングがあった後なので、やはりモデリングが重要で、計測というのは先にあるモデルに基 づいて、自然界やら何やら、大規模なシステムを、どういうふうに定量的に把握するかという技術

○木村

今まで制御のコミュニティというのは、必ず、制御とシステム同定という、2 つの柱で走ってきていますから、モデリングを等視しているわけでは全くありません。計測とモデリングの位置が逆転しているというのは、これはおっしゃるとおりですね。

〇三平

これは余り気にしないでいただければと思います。私も完全にこうでなければいけないというつもりは全然ありませんし、この辺に書いてあるようなキーワードを横断型基幹科学技術という形で考えなければいけないということを示す、その程度のものとしてお考えいただければと思います。

モデリングに関しては、確かに大切だと思っています。単に詳細なモデルを作ればいいというのではなく、制御をするために必要なモデルが何かというのを我々は常に考えています。詳細なモデルに誤差の部分も加えてモデル化し、制御系をフォーメーションしよう、と。仮に低い次元のモデルであっても、制御に関しては非常にいいパフォーマンスをするというようなものもあります。その意味で、我々は、どういうモデルを使えば制御に使えるかということを含めて考えていかなければいけないというふうに思っています。

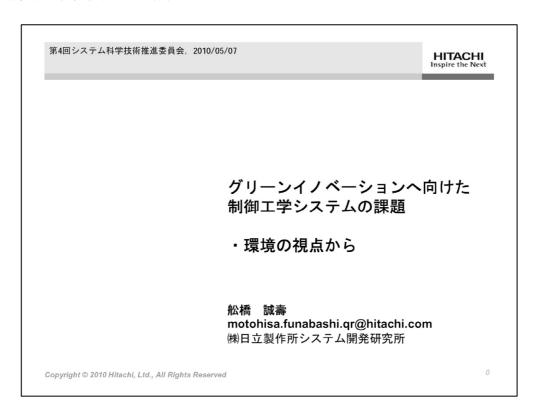
○原山

社会システムを対象にしたときに気をつけていただきたいのは、内容が、いわゆるアーキファクタではなくて人であるわけです。となると、「制御」という言葉が本当にアプロプリエートなのかというのが疑問の一つです。それから、基本的には、こういう学問をしていないわけではなくて、従来人文社会学の中では、いわゆるステークホルダーの調整メカニズムと、それからガバナンスといった概念でもって、調整ということはしています。ですから、何もこれを押し当てるということではなくて、既存の分析の仕方というものも把握した上でもって、その中に制御がどのように位置づけられるかということを考えていただきたいと思います。

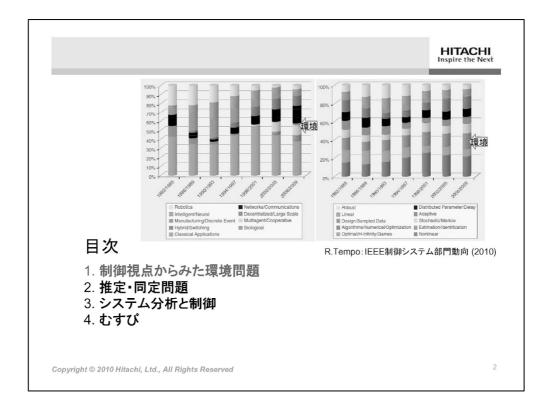
〇三平

社会学の方と少しお話ししたこともありますが、根っこは基本的に同じだと思いますけれど、完全に離れてしまっていて、話が通じなくなっているなというのは私自身も感じているところです。 そこをもう一度通じるようにして、新たなものをもう一度考えていかなければいけないとは思っています。

3.3 舩橋誠壽技術顧問ご講演記録



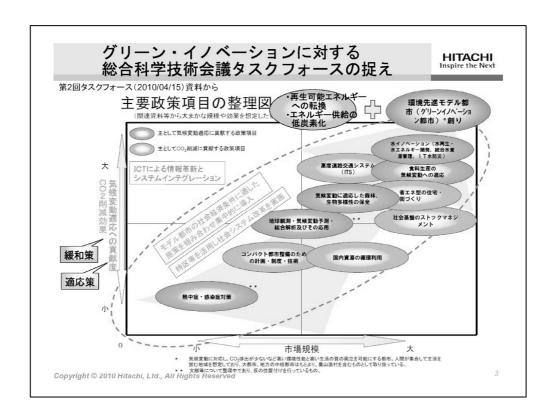
安岡先生を前に環境のお話をするというのは大変気が引けるのですけれど、制御の視点からグリ ーンイノベーションをお話しするということ、それから、私は現在国立環境研の方にも外部から少 し関係させていただいていますので、その観点でお話しさせていただこうと思います。国立環境研 の取り組みは、制御の目から見ても非常に先端的なことをやっておられますので、その辺の状況も 御紹介したいと思います。



これがあらましですが、スペースの埋め草として、ちょっと、こんなものを拾ってきました。IEEE に Control System Society、制御システム部門というのがあります。これは、そこの会長さんの Tempo という先生が「Control Magazine」の 4 月号に寄せられたもので、制御の年会でどういう 話題が発表されてきたかについて、1982年から2009年まで経年変化を追っているものです。左図 は application に対してで、Robotics から Biological まで、9 区分で表しています。右図は theory に対してで、Robust から Nonlinear まで、10 区分で表しています。

application の方で最近広がってきている分野は、黒い部分、ネットワークやコミュニケーション にコントロール・テクノロジーを使おうという部分が一つ、それから、黄色のマルチエージェント やコーポレーションで大規模システムを扱うといった部分が、今、emerging な分野ではないかと いう感じです。theory の方は、いろいろな動きがあって、逆に特に際立った動きが見えていないよ うな状況です。

これは私の考えですが、環境の世界は、applicationでいえば Multiagent/Cooperative のところ、 それから theory でいえば、Estimation/Identification のところと、非常に関係があるのではないか というふうに見ています。



グリーンイノベーションへ向けては、今、総合科学技術会議の方でタスクフォースが動いていま す。3月に発足しましたが、6月までにグリーンイノベーションでどんなことをするかということ をきちんと洗い出すということで動いているようです。その中で、主要政策項目が整理されている わけですが、グリーンイノベーションということでは2つの視点があるだろう、と。一つは、再生 可能エネルギーやエネルギー供給の低炭素化、スマートグリッドなどのエネルギー関係です。それ からもう一つは、環境先進モデル都市。この辺をしっかりやっていくことが必要ではないかという ような議論がなされているようです。

この図は、市場規模や、気候変動あるいは CO2 低減への効果という軸でより具体的な内容をプロ ットしているもので、ブルーで示したのが緩和策(mitigation)、緑で示したのが適応策(adaptation) です。緩和策は、CO2排出をできるだけ抑えるための課題、適応策は、起こってきた気候変動に対 してやっていかなくてはならない課題、例えば水や食糧の話などが、ここで掲げられているという わけです。

いろいろありますが、本日は、真ん中にある地球観測・気候変動予測・総合解析及びその応用と いうあたりについて、どんな制御的な概念が進んでいるのかということを御紹介したいと思います。

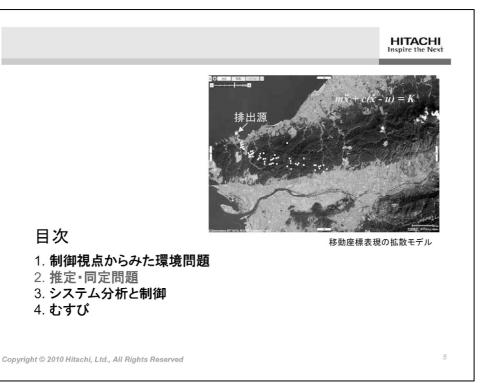
³ http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/action.html

私は 40 年前に会社に入りまして、先輩方は、大体、生産システムや新幹線といったことをやっていたわけですが、もうその方面はあまりやることがないということで、社会システムや環境システムのモデル化にいろいろ関係してきました。

Copyright © 2010 Hitachi, Ltd., All Rights Reserved

制御の視点から環境問題を見るとどんなふうになるか。スライド下部に、環境システムとして、物理システムあるいは生態システムというものを書いています。それから上部に、社会システムがあって、経済活動などが起こっている。左上に制御主体というのがあって、ここに制度をいろいろ設けていくということですが、環境システムを計ることが大きな問題だということで、観測システムをつくっていった。それから、排出源からはどういうデータをとるか。どれくらい燃料を使ったのかといったデータをとって、それをベースにしていろんな政策決定をしていくというようなことです。一つの国としてはここで閉じているわけですが、当然、貿易がありますので、財の部分で移送がある。それから、国同士でのいろんなやりとりもあるというわけです。

それをシステム制御の目で見て、どんな課題があるのか。一つは、推定・同定の問題をしっかりとらえなければいけないということです。それから、社会システムをどう捉え、どういう制度設計ができるかということで、システム分析が必要になる。さらに、いろいろな制御主体、国同士の問題がありますので、他関与者の意思決定も重要です。 CO_2 の負担をおたがいにどういう形で負うか、国の間での衡平性、責任問題など、非常に難しい問題がいろいろとあります。今日は、ここは端折らせていただき、推定・同定問題とシステム分析と制御の2つについて、お話したいと思います。



まずは推定・同定問題ということですが、私の自己紹介がてら、この図をお示ししています。こ れは和歌山県ですが、ここに多奈川第二火力発電所を建てるということで、その時の環境アセスメ ントに入社後かかわりました。私は、それまでに確率微分方程式などを用いていたので、大気汚染 問題だから分布系だととらえるのではなく、粒子としてトラッキングしようということでモデル化 してみたわけです。モデリングが大切だという議論も先ほどありましたが、いろいろな見方、モデ ル化の方法があるわけで、それにのっとって、推定・同定問題をやっていくことが非常に大事だろ うと思っています。

目次

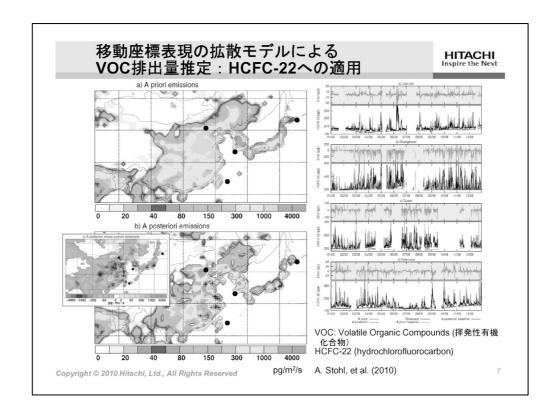
4. むすび

2. 推定•同定問題 3. システム分析と制御 環境システムにおける推定・同定で、一体どういうことを問題にしているか。

大気や海洋といった環境システムのいろいろ現象はこういう構造仮説があって、実際のダイナミクスが動いている。しかし、観測できるのはそのごく一部です。観測データには、衛星データもあれば地上のデータもあり、さまざまなデータが集積したものから、実際に分布的に物理量がどうなっているか、あるいはパラメータがどうなっているか、それからこのAという関数がどうなっているか、そういうことを求めていくのが制御の課題であるわけです。

これらが必要な理由は、幾つかあります。申請排出量では、とても信用できない部分がある。2009年のコペンハーゲン会議(COP15/COPMOP5)でも、先進国が費用を出すから、査察を行って排出量が実際に減っているかわかるようにしなさい、というようなことを発展途上国に求めたわけですが、実際にはできていません。もしも観測データから推定できればすばらしい。それから、越境汚染。日本ではかつて光化学スモッグが大問題になりましたが、最近になってまた頻繁に起こるようになってきた。九州などで起こっているわけですが、これは中国起因のものだといわれています。また、未解明な現象として、炭酸ガスが海でどれくらい吸収されるのか等、いろいろなことがあるわけですが、その部分を定量化したい。観測系を置くには非常にコストがかかりますから、それを最適化したいというのもあります。さらに、日々の気象の予測精度向上のために、最良の初期値を使いたい。観測点がないところでも一番いい初期値を使いたい。

こういったさまざまなニーズに対して、データ同化(Data Assimilation)の研究があり、日本では統計数理研究所に大きなグループがあります。最近、幾つかの研究が生まれてきていますので、少し例を御紹介したいと思います。



これは、ノルウェー、中国、韓国、それから国立環境研究所の方などが集まって、観測値から排 出量を推定することはできないか、VOC(揮発性有機化合物)に関して行った結果です。

a)で示しているのが、A priori emissions ということで、原単位というような数値がありまして、 そこで人口分布や土地利用の形態によって、アプリオリにはこんなふうに排出量が想定されるとい うことを示しています。それに対して、黒丸で示した4つの観測点があるわけですが、この観測点 の1年間分のデータを用いて、どこから物が排出され、どう流れてきたのかというのを推定した結 果が、b)の A posteriori emissions です。のっぺらぼうになっている部分もありますが、いろんな 濃淡があるというようなことがわかるわけです。これがどれくらいの信憑性を持つかは、よく検討 しなくてはなりません。その例を示したのが右に示したデータですが、これは4地点の観測値です。 実際の観測値(observed)に対して、モデル計算の誤差を赤で書いている。これが A priori です。 この誤差が小さくなるように排出量の値をいろいろ調整していった、その結果が A posteriori です。 これは VOC という比較的安定な物質だからできるのであって、 CO_2 に対してこれができるかと いうと、まだまだ大変な課題だということですが、排出量の推定値というものが、こんなふうに推 定できるようになってきたという一つの方向をあらわしていると思います。

これは、ある地点に来る空気の塊を、20 日間逆にトラッキングして、こういう積分値として表されるはずだ、という考え方でつくっています。これは拡散要素みたいなものですが、線積分されていく。こういうふうな形でもって、この Φ_A を推定した結果だというわけです。ある排出量を与えたときに、どれくらい影響を及ぼすかという排出感度係数の値を出しているわけですが、非常に感度が高い地域では、排出量が精度よく推定できる観測点になる。ところがインドのあたりは、ヒマラヤがあるから風が吹いてこず、あちらの方はわからない。したがって、その辺りにも観測点が要るというようなことが、これで考えられます。

排出源を推定するためには、観測網をきちんとつくっていく必要がありますが、システム制御技術というのはこういうところでも大変役に立ち、貢献していくことができると考えています。



2つめ、システム分析と制御の話に移ります。

麻生政権の時代に、 CO_2 の排出量削減量を幾らにするかということで、2008年の 11 月から 2009年4月にわたり、いろいろなシステム分析がされました。この図は、その時のまとめの1つです。 左端に、1990年比で何%減らすかということを幾パターンか書き、それを実現するには、どんな ことをしなくてはいけないかというのを出しているわけですが、これは実はモデルベースでしっか り計算しています。1997年の京都議定書では、日本は余りモデルベースでやらなかったという反省 から、モデル研究者を総動員して、幾つかのケースについて、いろいろシミュレーションしたわけ です。その結果として、麻生政権のときには1990年比8%に持っていき、鳩山政権になって25% に持っていった。

温暖化対策立案のためのシステム分析

HITACHI

■システム分析の基本的ステップ(環境省脱温暖化2050研究プロジェクトの例)

Step1:低炭素社会実現のための目標設定一産業革命前として2℃を越えないこと を目標に、2050年の二酸化炭素量の削減目標を1990年比で60~80%と設

Step2:2050年の日本の社会・経済の姿を、文献・専門家インタビューを通じて2つ のシナリオとして示すーシナリオA 活発な回転の速い技術志向の社会,シ ナリオ B ゆったりでややスローな自然志向の社会

Step3:2050年の二酸化炭素排出量を1990年比で70%削減するために必要となる 対策・政策を網羅的に抽出し、12方策に整理

Step4: 経済行動に関して、一般均衡モデル(CGE: Computational General Equilibrium)が成立つとして、それぞれのシナリオにおける外生条件(たとえ ば、GDP)を与えて、費用最小となる方策列を探索(年度間の制約;習熟プロ ビジョンB: ゆとり、足るを知る 分散型/コミュニティ重視 地産地湾、必要な分の生産・消費 もったいない ビジョンA: 活力、成長志向 セス) 都市型/個人を大事に

集中生産・リサイクル 技術によるブレイクスル り便利で快適な社会を目指す

国立環境研, 京大, 立命大, みずほ情報総研(2009)

Copyright © 2010 Hitachi, Ltd., All Rights Reserved

社会・文化的価値を尊ぶ

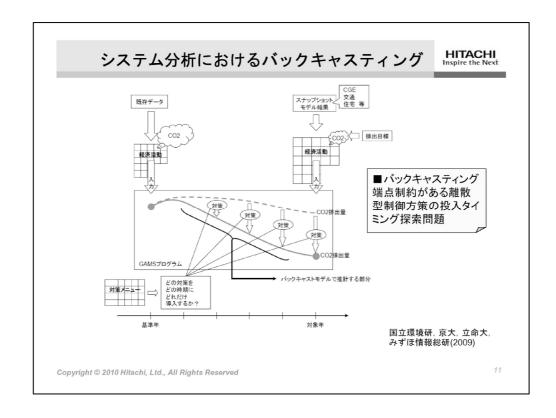
一体どんなふうにしてシミュレーションしたか、システム分析したかというのがこちらです。環 境省、つまり環境研が中心になってやっている 2050 年研究プロジェクトで、このようなステップ でやってきています。

まず、目標をどうするか。システムには目的があるというお話もありましたが、ここでも目標を 決めなくてはいけない。2050 年に、1990 年比で 60~80%減らしましょう。それから、ここには explicit に出ていませんが、GDP は $1\sim2\%$ 伸ばすようにしましょう。こういう目標を設定します。

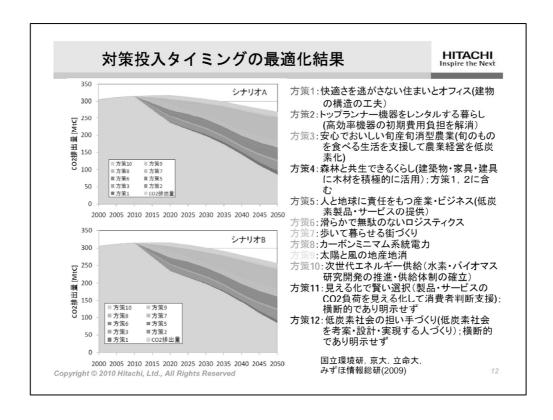
次に、そうなったときの経済の姿を描きます。文献やインタビューを通じて議論をし、AとB、2 つのビジョンにまとめています。一つは活発な回転の速い技術志向の社会。それからもう一つは、 ややスローな自然志向の社会。

それから3番目に何をするか。どういう対策・政策を打ち出してコントロールしていくか、網羅 的に抽出し、12方策に整理しています。

そして最後に、作ったシナリオが本当に成り立つか、複数ある方策をどういう順番でインプリメ ントしていくか、経済モデルに基づいて検討し、最終的に何%減らすにはどんな方策が必要かとい うシナリオを出したというわけです。

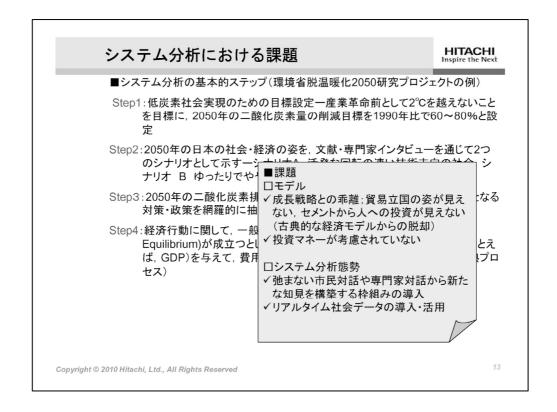


今ご説明したことは、制御の視点から見ると最適制御で、こちらの世界ではバックキャスティン グという問題として考えられるわけです。2050 年に目標とする CO₂排出量はこうしたい。現状で 行くとこうなってしまうから、間にいろいろ対策を講じなければいけない。では、どんな対策をど ういうステップで入れていくか。これは、両端が決まっていてその間でどういう制御をしていった らいいかという、完璧な制御問題といえるわけです。



これは2つのビジョンに対して、どれくらいの削減量をいつ求めるかということを導いた結果で す。基本的には、このブルーで示されたカーボンミニマム系電力、つまり電力部分できちんと絞ら ないといけないという部分が主になっています。さらに次の手段として、まちづくりや、共生、地 産地消なども、しっかりしていかなければいけないというシナリオです。離散的な話など数値計算 上の難しさはいろいろありますが、そこをきちんとやって、これを導いてきているというわけです。

これは非常にすばらしい話で、シナリオだけが独走するのではなくて、シナリオとシミュレーシ ョンとを一体にして――シナリオ・アンド・シミュレーションと呼ばれているものですが、政策が 考えられているというわけです。

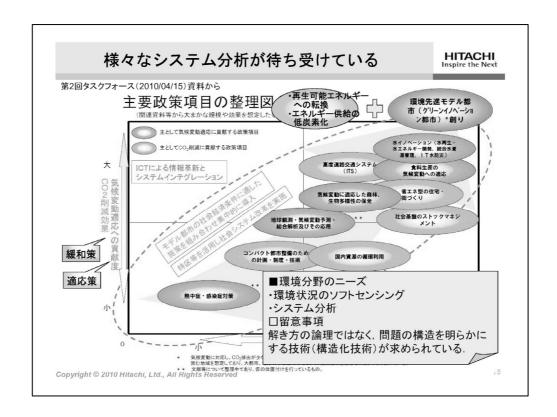


もちろん、いろいろ課題はあります。

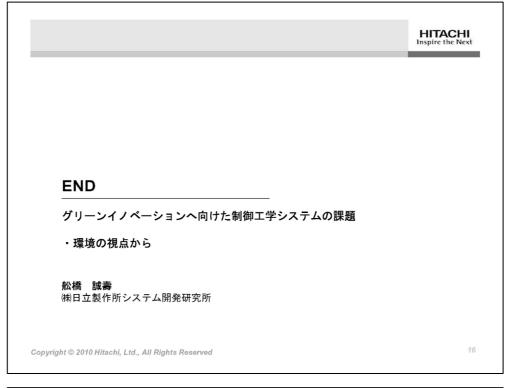
今、日本は成長戦略を打ち出していこうとしているわけですが、貿易の姿が見えないじゃないか とか、人へ投資すると言うけれどこういう古典的な経済モデルでいいのかという話。また、投資マ ネーをどうするのかということもあるわけです。

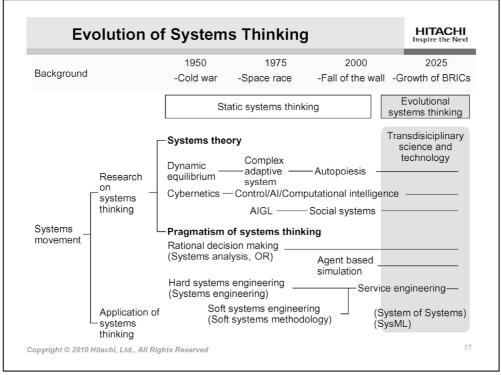
それからシステム分析態勢も、特定の人たち、一種のエリート集団がやってきたわけですが、市 民対話や専門家対話から、いろんな意見をとっていくような枠組みも入れなくてはいけない。また、 これからどんどんリアルタイムデータが入ってくることを前提にして、分析の考え方をしっかりさ せていかなくてはいけないと私は思っています。

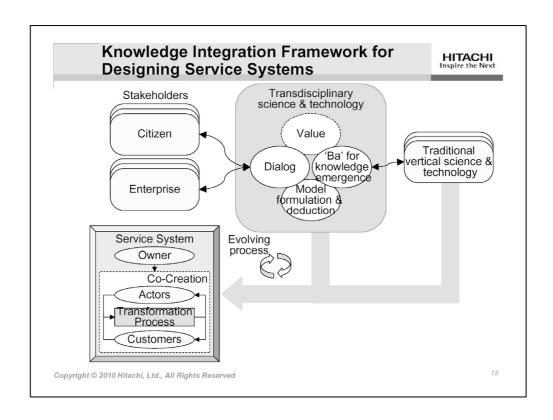
お話ししてきたことのまとめに入りたいと思います。これは、今年の3月31日にエコ社会に向けたロードマップということで小沢環境大臣が発表したものを載せています。



グリーンイノベーションにおいて制御に対するニーズとして考えられるのは、一つはソフトセン シングを制御技術がきちんと担っていくこと。これは環境自体もあるし、それ以外に、社会をソフ トセンシングしていくということも非常に大事だと思います。それから、システム分析というのも、 単にモデルから出発するのではなくて、概念的なところから落とし込んでいくこと。こういう考え 方は、交通であろうが水であろうが、どこにでも展開していけるはずです。個別で生まれた制御技 術が、いろんなところに展開でき、グリーンイノベーション全体に貢献できるだろうと思っていま す。







3.4 飯野穣顧問ご講演記録

JST/CRDS 第4回システム科学技術推進委員会 報告資料(2010/5/7)

エネルギー技術分野からのシステム制御技術への期待

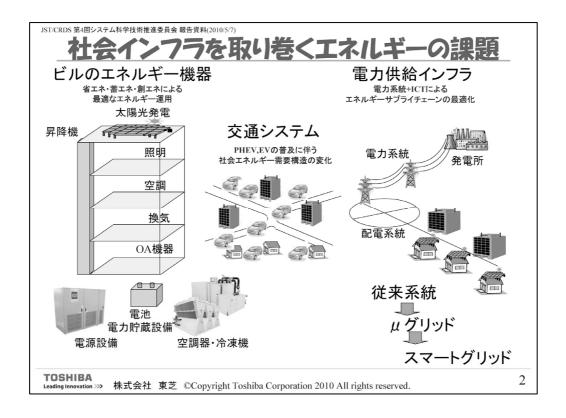
2010-5-7

株式会社 東芝 電力・社会システム技術開発センター 飯野 穣

TOSHIBA
Leading Innovation >>> 株式会社 東芝 ©Copyright Toshiba Corporation 2010 All rights reserved.

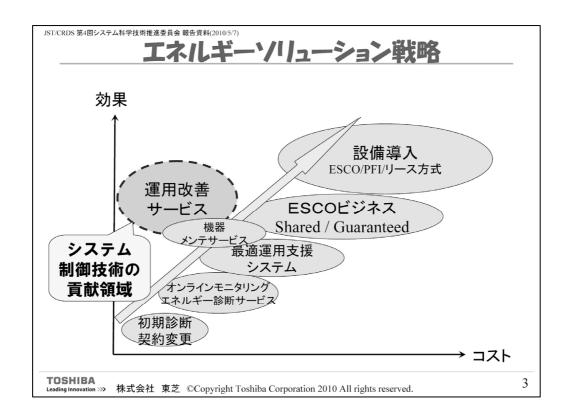
1

現在私は、どちらかというと現場のエンジニアとして、エネルギー関係の研究開発・製品開発に携わっています。今日は、制御技術、システム制御といった視点で、エネルギー技術分野にどういう課題があって、どういう新しい切り口が考えられるかのヒントとなるような話題提供ができればと思っています。内容的には少し断片的な話の羅列になるかもしれませんが、御了承いただければと思います。



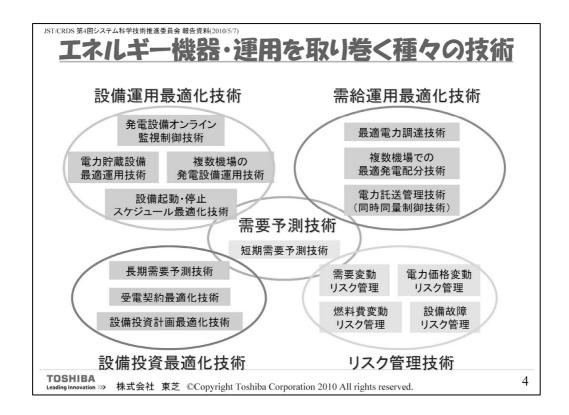
社会インフラにおいて、どういうエネルギーの課題があるかといいますと、いろいろな分野があ りますが、私のかかわっている身の回りの課題の例では、ビルなどの建物の住環境等、こういった 人間の活動環境におけるエネルギーの合理化、省エネといった話があります。具体的には、ビルの 中でも、照明、空調、換気、OA 機器といった負荷があって、電源供給設備があって、さらに最近 は太陽光といったものを入れようという話があります。同じように交通システムも、交通全体を合 理化しようという話と、これから電気自動車が普及するという話とがあります。それから、先ほど から何度かキーワードで出てきたスマートグリッドといった新しいエネルギー供給、電力供給のイ ンフラがある。

これらは、従来の電力系統に ICT の技術が加わり、新しいエネルギーサプライチェーンを構築し ていこうという、ある意味一つのイノベーションであると考えられます。こうしたエネルギーの新 しい動きの中で、どういうシステム工学、システム理論の可能性があるかということをお話しして いきたいと思います。



この 10 年ほど、私はエネルギーソリューションという名のもとに、産業面での技術を検討して きました。やってきたことを振り返ると、最終的には、結局投資対効果という話になります。例え ば、省エネーつとってみても、大きな効果を期待するには、やはり設備をそっくり改良しないとい けない。小さいもので安く済ませようとすると効果も小さいということで、投資コストと得られる 効果、例えば省エネ効果というのは、大体、比例関係にあるというふうに感じています。

ところが、最近、ここにうまく ICT の技術をかぶせて、さらにシステム制御的な話を絡めると、 実はコストを少なくして効果が大きい領域というのがある。このあたりに、新たな切り口があるの ではないかと考えています。



今までエネルギーソリューション戦略をやってきた結果、エネルギー機器・運用のためにどのよ うな技術が必要かというと、一つは設備運用の最適化技術というものが必要である。それから、そ れに伴って需要予測という技術が必要である。また、予測をしながら、需要と供給の関係をうまく バランスをとって最適に運用する、需給運用最適化技術。さらには、15年とか30年といった非常 に長いスパンで、エネルギー設備投資を最適化していく技術。それから、運用において、予想外の 変動要因や外乱をどう回避していくかというリスク管理の技術。

こういったものが必要であるということを日ごろから体験してきて、エネルギーの問題は、大体 この中で解決できると思っていたわけですが、どうも最近、さらに新しい話が出てきている。その 一つはスマートグリッドです。従来のエネルギーシステムのハードウェアの上に、情報系、ICT と いうものをかぶせ、さらにその上に新しいサービスの市場まで考えていこうという、欧米の動きが 日本にも押し寄せてきています。その中で、では、我々はどういうシステマティックなアプローチ ができるか、あるいは課題をシステム工学の分野で解決できるかということで、幾つかのキーワー ドを御紹介していきたいと思います。

JST/CRDS 第4回システム科学技術推進委員会 報告資料(2010/5/7)

制御システム分野への新しい課題、期待

課題1:時空間を超えたエネルギー利用

モデル予測制御

多目的最適化(Cost, kWh, CO2, etc.)

設備インフラ計画問題

再構成能力(reconfigurable / Plug and Play Control)

課題2:マルチプレーヤによる経済システム ゲーム理論(市場原理、Nash均衡解) マルチエージェントシミュレーション(市場取引モデル) リスクエ学(金融工学)

課題3:広域・分散システム センサネットワーク/センサーフュージョン

TOSHIBA

株式会社 東芝 ©Copyright Toshiba Corporation 2010 All rights reserved.

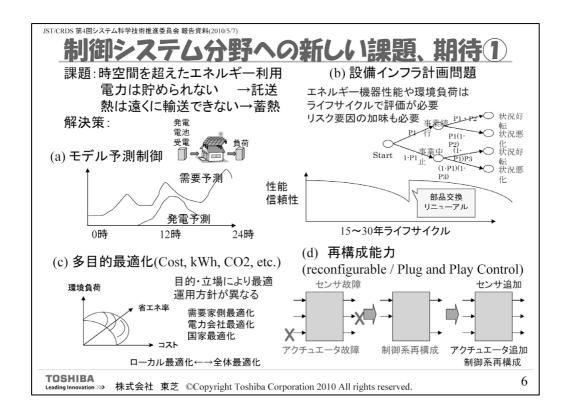
5

大きく分けて、3つの課題を考えました。

1 つ目は、時空間を超えたエネルギー利用です。電気エネルギーというのは、電池は一般に高価 なので、なかなか貯めにくい。一方、熱エネルギーは輸送しにくい性質がある。それをどうやって、 時間を超えて、あるいは空間を超えて広域でエネルギーを使うか。この時空間を超えたエネルギー 利用は経産省が数年前から挙げている課題です。

それから2つ目が、先ほどの内田先生の御紹介の中にもありましたけれど、エネルギー問題を経 済システムという視点でとらえた課題です。経済システムと考えた瞬間に、多くのプレーヤーがい て、マルチプレーヤーによる一種のゲーム理論的な、あるいはマルチエージェント的なシステムに なり、非常に複雑怪奇なものになってしまう。これをどうとらえていくか。

3 番目に、エネルギー供給というものが、広域で、しかも最近、分散電源という考え方が出てき たことにより、今までの概念が全く変わってきている。一番代表的なのは、各家庭に太陽光発電が 普及すると、巷にたくさんの電源ができてしまう例ですが、そういったことをどう解決していくか。 この3つを、さらに詳しく御紹介していきます。



まず、時空間を超えたエネルギー利用。電力は貯めにくく、熱は遠くに輸送できない。これを逆 にひっくり返せば、電力は遠くに送れるし、熱は蓄熱という手段が比較的安くできる。これらをう まく組み合わせれば、何かできるのではないか。

<非掲載スライド>

1番目は、モデル予測制御という概念を御紹介します。これはお手元の資料に入れていませんが、 例えばエネルギーを最適に運用しようとすると、大体、こういうパターンになります。

まず、外部条件――気象とか人の活動とか生産計画といったところから、需要を予測する。どれ だけ電気を使うかを予測して、もちろん太陽光などがあれば、それもある程度予測する。これに対 してエネルギーの供給計画、運用計画を最適化する。需要に対してエネルギーの供給がマッチング するように、実際にリアルタイムでフィードバック制御をかけていくという問題になります。

予測というものが入る時点で、今までのような、瞬時、瞬時の最適化だけではなく、結構長い期 間の予測が必要になる。実際に、分オーダーの予測から時間オーダー、日オーダー、さらには1週 間、1年といった、非常に長い計画問題を解いています。これが設備群となってくれば、多数の設 備を同時に考えるいわゆる多変数の問題になっていきます。すなわち、非常に大規模な最適化問題 をリアルタイムで解く問題になります。

<非掲載スライド>

2番目が、お手元の資料で言うと、6ページの右上に示した、(b) 設備インフラの計画問題です。 大型の大規模電源がいいのか、あるいは小型の分散電源がいいのかという議論は昔からあり、い それから、ライフサイクルの切り口で考えると、設備をどういうふうにリニューアルしていけばいいかという設備計画問題になり、それは将来のシナリオ変動に対処する必要がある。例えば、今年から、要は太陽光の発電分を買い取るフィードインタリフ制度が始まっていますけれど、こういう制度が今後どう変わっていくかによって、太陽光発電の普及シナリオが変わってくるわけです。それから、エネルギーそのものが市場原理に基づいていますので、例えば原油の価格が変われば、エネルギーの値段も変わり、配分も変わってくる。こういったいろいろなシナリオに基づいて、リスクを評価する必要があります。一種のモンテカルロシミュレーション的で、いろいろなシナリオの評価をすることになります。

<非掲載スライド>

3番目は、(c) 多目的最適化という切り口です。

エネルギーには、非常に多くの指標があります。最適化すると言っても、コストを最適化するのか、kW――容量を最適化するのか、あるいは kWh――エネルギーそのものを削減・省エネするのか、あるいは環境問題として CO₂ を減らすのか。それぞれに戦略が変わってきます。

それから、エネルギーの種類も様々で、電力もあればガスもあれば、蒸気、冷水、温水、工場では圧縮空気といったものもあります。この中で、可逆・不可逆という関係があり、電力から熱には変えやすいけれど、熱から電気には変えにくいといった制約条件もあります。これをどうハンドリングしていくかというのが一つの課題になっています。

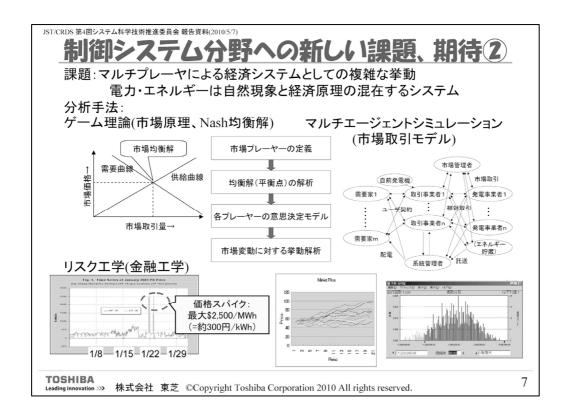
また、電力には、品質という指標もあります。供給の信頼性です。いざというときに切れるかも しれない、あるいは絶対に切れないバックアップ電源がついている、こういったことによって、マ ルチのクオリティーという概念が出てきます。負荷の要求レベルに応じてどういうふうに配分する か。このように非常に多様な指標の中で、どう最適化していくか考えていく必要があります。

<非掲載スライド>

4番目に、(d) 再構成能力という概念を御紹介します。

一般には、制御システムの中で、センサやアクチュエータが壊れたとなると、制御系の構造が変わるわけです。これに順応して、再構成をできる能力というものが要求されます。また、新たなセンサやアクチュエータが追加されても、これも一つの再構成になります。

これと同じことが分散電源にも起きるわけで、分散電源がつながったネットワークをマイクログリッドという言い方をするのですが、その中で、個々の電源が突然離脱したり、あるいは新たに加わったりして、常に形態が変わっていくという状況になります。それに応じて、エネルギーの管理システム、制御システムも変わっていかなくてはならず、再構成能力というものが一つの課題になると思います。



次に、「エネルギー=経済問題」であるということで、マルチプレーヤーによる経済システムとし ての挙動の解析に関する課題をお話します。

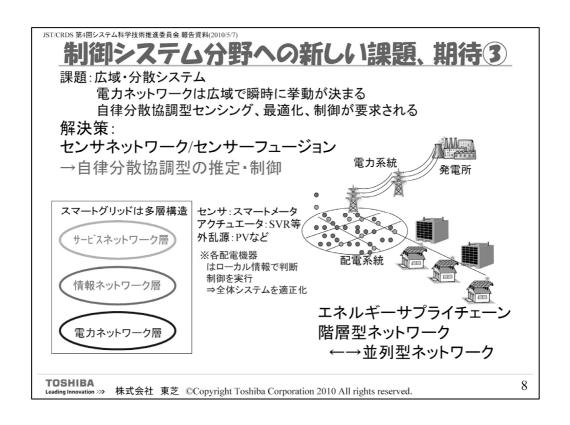
日本では2000~2005年ごろに、電力の自由化という議論が起きました。結局、余り過激な市場 開放はなされませんでしたが、カリフォルニアで自由化が行き過ぎ、エネルギーの価格がいきなり はね上がるプライススパイクという現象が起きたことがあります。こういった現象を研究しようと すると、経済モデルの解析が必要になってきます。ところが、エネルギーというのは「生もの」と 言われていて、必要以上には貯められないし、急激に作ることもできない。

<非掲載スライド>

市場モデルをつくるときには、供給側として発電事業者のモデルをつくり、需要側としていろい ろな需要者のモデルをつくり、取引業者といった要素も入れて、供給曲線と需要曲線というものを 求めます。2 つがクロスするところが、いわゆる市場均衡解となり、これによって市場価格と市場 取引量が決まる。簡単に書くとこういう関係でして、条件が少し変わると均衡解が動き、取引量や 価格も変わってくるわけです。このダイナミクスが非常に不安定で、リアルタイムでどんどん動い ていく可能性があるというのが、エネルギーの市場の特徴かと考えています。

これを解析するに当たって、マルチエージェント型のモデルで市場プレーヤーを定義し、計算機 上でシミュレーションするというような理論研究の分野も実際にありますけれど、実際と合わせに くい、モデル化しにくい領域です。

さらに、スマートグリッドによって、こうしたやりとりを計算機が全部行い、自動化しようという考え方もあります。例えば、雲で急に太陽光が陰って電気が足りなくなったら、「需要家さん、節電に協力してください。減らした分、何かリワードします」というような経済モデルを考えると、本当にリアルタイムにどんどん動いていく問題になるわけです。これを、どうやって最適化するか、どうやってうまく運用するかという課題が出てきます。



次は、広域・分散システムとしてのエネルギー問題です。

スマートグリッドというのは、3 つの階層があると私は考えています。まず、従来の電力のネットワーク、それから ICT の技術をかぶせることによる、情報のネットワーク、さらには、サービスのネットワーク。新たなサービス市場ができれば、欧米の ICT 企業が日本に参入して来る可能性もあるでしょう。

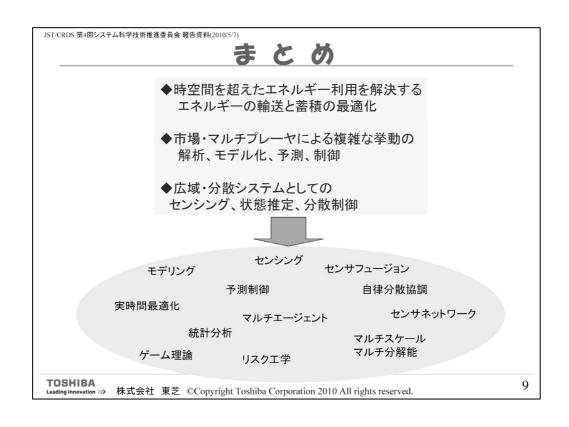
この3階層で議論するべきではないかと思っていますが、その中で「広域・分散」というキーワードで、新しくエネルギーサプライチェーンを考え直す必要がある。そこには階層型と並列型という2つの概念があります。

<非掲載スライド>

垂直構造のとらえ方ですが、従来は、エネルギーサプライチェーンというのは、発電所から電力系統、基幹系統、それから配電系統を通じて需要家に至るという、一方通行の流れでした。ところが今後、需要家側に太陽光発電ができれば逆潮流も出てくるし、いろんな分散電源が間に入って複

雑化します。それから情報面でも、一方通行ではなく双方向通信、インターオペラビリティという 考え方が必要です。電力と情報のネットワークで考えると、いわゆる基幹系統、配電系統、需要家 系統という電力の階層構造と同時に、情報系としても大規模な制御、1 軒 1 軒の家の制御といった 階層構造になって、それぞれが同じようなことをやろうとしている、ある種のフラクタル構造的な システムになっていくのではないかと考えられます。

一方、完全な水平型という概念もあります。これから日本にも、スマートメーターというものが 普及していけば、スマートメーター同士が情報をやり取りすることによって、巨大なメッシュ型の 情報ネットワークができる可能性がある。これは完全に水平型で、お互いに協調して何か制御でき るのではないかという期待もでてきます。また、センサがたくさんばらまかれることになるので、 今までわかっていなかった配電系統のエネルギーの流れをいろいろと把握できるようになる。それ によって、よりきめ細かなエネルギー最適化ができる可能性もあります。



以上、非常に断片的ではありますが、時空間を超えたエネルギー利用、市場マルチプレーヤー、 それから広域・分散という3つの切り口で、いろいろなキーワードを挙げてきました。



最後に、個人的には、システム理論やシステム工学は、現場の問題を一度抽象化、一般化して、一般解・最適解を導き出すという、非常にシステマティックなアプローチであり、エネルギー問題、環境問題には絶対に適合し得るし、今後期待される技術、テクノロジーであると信じています。今後、こういったシステム理論・工学が役立っていくことを期待しています。

3.5 総合討論記録

○安岡

一般論の話になりますが、次期の科学技術基本計画で、課題解決にこれからウェイトが置かれて いく時に、システム科学技術が果たすべき役割は非常に大きいと思います。どういう意味で大きい のかというと、私はいつも、問題空間と解決空間というふうに、上下の2層に分けますが、環境問 題をはじめとした様々な課題は問題空間にあります。研究者というのは下の解決空間にいて、「自分 がやっている科学技術は、これにも使える、あれにも使える」と言うわけですが、問題空間から見 ると、「これも使わなければいけない、あれも使わなければいけない」わけです。その道筋をどうや ってつなぐかが非常に難しい。そこをシステム科学技術がやらなければならないと私は思います。

問題あるいは課題を与えられたとき、従来からあるいろんな科学技術をどう組み合わせていくか という方法論を見つけることが非常に重要である。制御工学というのは、その方法論の中で最後の 出口の部分、つまり「よくする」部分につながるわけです。問題に直結する部分が制御ですから、 そこの部分が最後に出てこないと、課題は解決できないだろう、と思います。そういう意味では、 制御工学が一つの核になるでしょう。

また、課題解決にいたるまでには、何ステップかがあって、層が幾つかに分かれますが、その構 造化の部分、それをどうやってつないでいくかという道筋の部分、それぞれにマイクロコントロー ルというものが要るでしょうけれど、そういうものを見つけるということを、システム科学技術と して、是非、お願いしたい。

○椿

いずれ立ち上がるモデリング分科会ですが、制御分野の方々とコラボレーションをしていかない と、なかなかいろんな部分ができていかないと考えています。モデリング自身は、その入口として の目的や価値といった部分、それから制御はそれをどう使うかという部分です。また、先ほど舩橋 先生からありましたように、システム同定というのは、ある意味モデリングを前提にしており、制 御は複合的な横断科学だと思っています。

内田先生のご講演に対して古田先生が御質問された点、目的というもの自体の変容、それから、 これからの制御の課題として、数多くいるプレーヤー間の多様な価値の交渉といった部分が、実際 に出てきているというのは、制御理論というもの、制御システム、システム制御というものが人間 社会系に対して使われていくという点で、大変重要なものだと思っています。一方で、統計の分野 で行っているモデリングも、モデリングと言うと社会を映す鏡のような非常に静的なものに見える かもしれませんけれど、何に対してどうモデル化をするのが必要かという価値の部分は、どちらか というとこれまで余り語られていなかったと思います。

最近、医療分野でシステム科学を使うことに関しての議論を研究所でやりました。急性期の医療 に対する解というのは、何をすればいいかという目的が患者も医師も比較的明確な分野であるため、 プロセスをうまく記述するモデルというのは必要ですが、急性医療システムといったものに対して は既存のシステム科学的な方法論が非常にうまくいく。一方で、慢性期の医療に関するシステム、

あるいは介護のシステムというのは、目的や価値が、医療の従事者と需要者、その両者、ある種の ゲームのプレーヤーというものが価値を探りつつ、どういうところに落とすかというようなことを 考えなければいけない分野であるがゆえに、かなり難しい分野である――という議論がありまして、 非常にそのとおりだと思いました。制御システムに関しても、今後多様な価値がある人間社会系の 分野に出ていく時には、この種の考え方は、大変重要になると思います。

課題解決に向けて制御工学がブレークスルーの一つの基幹であるという議論は、私どもモデラー にとっても大変ヒントになる部分ですし、今後いろいろ議論をさせていただければと思っています。 戦略とか戦闘という分野に関して言えば、もともと、おたがいの価値に関して、いかにして他の価 値をゼロにするかということが目的であったわけですので、数理的には、いろいろな類縁分野があ るだろうと思っています。

○丹羽

先月、ヨーロッパの方で STEP (Science and Technology for Enhancing Policy) というシンポ ジウムがありまして、Policy making に Science and Technology がどういうふうに役立ち得るのか というあたりを、いろいろな角度から議論していました。これはある面で、今回の話と非常に通じ るところがあって、政策決定をするときには、いわゆる理系だけの話ではなく、非常に複雑ないろ いろな要素が入るわけです。私の目から見ると、余りかみ合った議論にはなっていなかったと感じ ましたが、少なくともヨーロッパでは、そんな議論を一生懸命やっています。日本でもそういった 議論がされているのかどうか、もし御存じでしたらお聞きしたいと思います。もしないのであれば、 やはり何かそういうことをやっていく必要があるのではないか、と。

今日の議論の中で、どうやればいいかわからないけれど、とにかく始めてみる以外ないだろうと いう趣旨の発言もあったと思いますが、では実際やっていく際には、一体どこが主体となってドラ イブしていくのか。そこは大きな問題だと思いますし、この委員会で何か具体案が出てくれば、一 つの成果になるのではないかと思いますので、そのような議論も委員会の中で議論していければ非 常によいと思います。

○市原

丹羽先生の御発言に関連して、いくつかお話します。もう 25 年以上前のことですが、政策にし っかりした理論的バックボーンが必要だということで、旧通産省の大臣官房の中に政策理論研究室 という部署をつくって、それが通商産業研究所という政策研究の機関に発展し、そして今は、独立 行政法人 経済産業研究所になっていますもまた、科学技術庁においても資源系の研究所を改組し、 科学技術政策研究所という形で政策研究を理論的に支える機関をつくったのも、もう 20 年近く前 の話だったと思います5。現実の政策の場は常に理論的バックボーンを求めており、逆にそうでない と、誰かの思いつきで言い出されたに過ぎないものをとにかくやるといった、旧日本陸軍の悪かっ

⁴通商産業研究所は1987年設立。経済産業研究所は2001年設立。

⁵科学技術政策研究所は、1988 年設立。

たころのような意思決定がしばしばなされてしまう。

私は理系のバックボーンを持って経済官庁の仕事をすることになったわけですが、経済学などは、 非常に単純な X/Y 系の入力と出力しかないシステムで、投入する X が日銀の利率だったり国が使 う公共事業費だったりして、株価が Y で出たりするわけですけれど、その可制御性も可観測性も何 ら考慮されることなく、ただ何か思いつきのように物が出てきて、それでなぜか意思決定されてし まう。総合科学技術会議の議員だった桑原先生や原山先生はよく御実見されたのではないかと思い ますが、やはり学術的な、システム科学的なアプローチは非常に必要であると思います。

システム科学的なアプローチを政策や現実の社会の場に応用適応すれば、こんなことができると いうことを、学術の世界から提供し、力を見せることが非常に重要ではないかと思います。価値の あることをやっているのか、そうでないのか。結局、事業仕分けで変な結果が出ることがあるのは、 そういうところができていないせいではないか。

○木村

非常に価値のある御提案をいただきました。意思決定の合理的基盤をつくるということ、実は、 この委員会を立ち上げるときからスコープの一つに入れてはいました。それには、理系だけでなく 社会科学の方々、特に経済学の方々の協力が要るということで、分科会をつくる努力はしています。 この中にも、例えば津田先生とか、金融工学をなさっている方など、何人か近い御専門の方がいら っしゃいます。まだ一度もご出席いただいてはいませんが、経済学でも黒田先生ともお話をして、 御賛同をいただいています。今日のテーマを含め、緊急の課題がたくさんありますので、今はそち らの方に集中していますが、いずれ考えていきたいと思っています。

○原山

私は、経済産業研究所に 3 年、NISTEP の方にも 2~3 年、また、総合科学技術会議にもおりま したので、実際に実践してきたことになります。

経済産業研究所では、霞ヶ関のシンクタンクになるというのが所長であった青木さんの趣旨で、 それに共鳴した人間が集まったわけです。青木さんが経済学者だったことから、経済学でもいろん な流派の人たちがいましたし、経済史、社会学、それから農学や健康をやっていた方もいて、複数 の分野の人たちをうまく集めたというのが彼の力だったわけです。集めただけではなく、かなり頻 繁に議論をする場の仕組みがありました。議論が盛り上がったところで、具体的なプロジェクトで もって財政に対して、大学改革に対して提言をする。複数分野の人間が一緒に、的を絞った形でも って何かをつくり上げたというのが強みでした。

我々に課されたことは、まさに政策提言だったわけです。単純に気持ちで言うのではなくて、自 分たちが持っている理論的なベースをもとにして、このテーマに関してはこういう分析の仕方があ って、現実に対してこういうことをしたらいいのではないかという提言です。その試みは非常にチ ャレンジングであり、凄く面白かった。

提言したものを政策する側がいかに受け取ってくれるかが、やはり課された命題であって、いろ

いろな指標でもってはかりました。提言したものがどんな場で取り扱われたか、各省庁や府省から 問い合わせが何件あったか、あるいは実際に政策の場に研究所から出ていったとか――10年ぐらい のレンジで見なければいけないわけですけれど、そこについてはかなり実績があったと思います。

でも、やはり社会から認められなくてはいけないわけで、それは政策をする側が、その必要性を 感じなくてはいけない。それがどこまで担保されるかというのが一番の課題ではないかと思います。

○津田

最近、制御の人気がなくなってきているというお話をお聞きして、非常に違和感を覚えました。 私は金融の世界に長くいて、金融工学といったものをやってきましたが、名前は「制御」とは違い ますが、ポートフォリオ運用や年金運用、リスクマネジメントなどといった制御の考えを取り入れ たものが、最近、非常に脚光を浴びてきています。最後の電力のエネルギーのところでも、マルチ エージェントシミュレーションの辺りは、まさに金融工学の世界でホットな話題になってきていま すから、制御の孫とでもいいますか、広い意味での制御はかなり花開いてきているような感じを受 けています。ただ、制御がご専門の方が社会的なことにコミットメントしていくというのは、まだ まだだと思いますので、そういう意味では、私の分野から見ると、これからそういう方々と協力す れば、大きなことができるのではないかというふうな期待を持っています。

今から 20 年前ですが、アメリカでブラックマンデーを引き起こしたのは、制御的な考え方を入 れたトレーディングのプログラムだったわけです。まさに制御の適用の仕方の問題ですね。状況に 応じて、相手やルールが変わっていく。それに対応して、自らも変わっていかないといけない。ま た、影響を及ぼしあうパスが 1、2 種類ではなく、例えば 1 万ある、それをどうコントロールして いくか。先ほどコメントがありましたように、自然科学と違って、やはり社会科学の場合は人が介 在しますので、そういう新しい概念、フロンティアを考えれば、発展していく分野が幾らでも広が っているというふうに私は思っています。

○倉橋

出口先生が何度か触れられていたように、特に社会・経済問題を語るときに、やはりモデリング がすごく重要だと思います。私がやっているマルチエージェントも、そのモデリングの技術だとい うふうに思っていて、そこの精度がどれだけあるかが、すべての根幹になるだろうというふうに思 います。そこがしっかりできていれば、その上で、どのように制御ができるかとか、どのように最 適化できるかということの信憑性が増すわけなので、新しい技術課題だと思いますけれど、そこを きちんとやっていかなくてはいけないだろうと思います。

反面、医療に関連した統計的な分析をしていた先生に話を聞いたところ、研究所でやっていても、 時の政権から「係数をいじれ」というような圧力がかかることも結構あって、もちろん嘘ではない 範囲内だけれども、本当にそのデータでいいのか悩みながらやっていたそうです。CO2削減量が8% から25%に変わったという話もでましたが、その辺の説明力、納得性も含めて、我々の課題なのか もしれないと思っています。

〇内田

制御は人気がないと言ったつもりはないのですけれど、制御のコミュニティの中で、何か、自分 たちを見て、元気がなくなっているのではないかという意味で申し上げました。制御の外の人から は、いつも、大変いろんな課題があるということを言われていますので、我々は是非飛び出して、 外で勝負をするということを、まずやらないといけないのではないかと思います。

<閉会挨拶>

○木村

今日は、制御工学とシステム科学というテーマで、4人の先生方からのお話を伺いました。グリ ーンイノベーションについては、船橋さんと飯野さんからかなり具体的な形で提案に近い内容もお 話いただき、なるほどと思いながら聞かせていただきましたが、今後分科会の方でさらにブラッシ ュアップして、まとめていきたいと思います。また、もう一つの柱のライフイノベーションについ ても、いずれまたこの委員会の場でテーマとしたいと思います。

フロアからは、励まし、助言、今後こうすべきであるというご意見を随分たくさんいただきまし た。今日は、制御のコミュニティ全体にとっても、非常に価値のある集まりになったと思います。 今後ともよろしくお願いいたします。

■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-06

システム科学技術推進委員会記録 第4回 制御工学とシステム科学

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. Any quotations must be appropriately acknowledged.

