

システムズエンジニアリングの系譜
Genealogy of Systems Engineering

Shoei Komatsu

Advanced Planning and Scheduling Organization
for Manufacturing
e-mail komatsu.shoei@nifty.com

小松昭英

ものづくり APS 推進機構
phone 045-832-2349

Abstract

Aiming to solve social problems and/or to create innovations, systems sciences and systems engineering are drawing attentions of academies and professional societies. However, looking the present situation of our country, it is considered that the beginning of systems engineering and the relationships among systems engineering, operations research, systems engineering, and project management are not widely and commonly recognized. Here, systems engineering is anew studied and considered.

Key word: system, operations research, system science, system engineering, project management,

要旨

社会問題の解決あるいはイノベーションの創出のために、「システム科学技術」が注目を集めている。しかし、我が国の現状を見ると、システムズエンジニアリングの出自や、関係の深いオペレーションズリサーチあるいはプロジェクトマネジメントとの関連については広く認識されていないように思われる。そこで、あらためてシステムエンジニアリングについて考察するものとする。

目次

- 1 はじめに
- 2 求められている科学技術
- 3 「システム科学技術」とは
- 4 OR について
- 5 OR から SE へ
- 6 SE から PM へ
- 7 PM と経済性評価(EE)
- 8:システムズアプローチ
- 9.まとめ

1. はじめに

先日、2004年2月21日(金)に、「イノベーションを牽引するシステム科学技術～日米中の動向に学ぶ～」と題する「科学技術国際シンポジウム」(主宰：科学技術振興機構研究開発戦略センター、後援：文部科学省、横断型基幹科学技術研究団体連合、日本工学アカデミー、計測自動制御学会)が開催された。

基調講演は、全米科学財団(NSF)工学部門局長、中国科学院数学・システム科学研究院前院長、そして科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター長から、それぞれ

- ・ Systems Science and Engineering
- ・ Systems Science in China
- ・ システム科学技術とイノベーション

というテーマで行われた。この講演者の肩書きとテーマから、それぞれの国の取り組み状況が象徴的に示されているように思われる。

すなわち、米国を基準にしようというのではないが、中国は数学・システム科学を一括りにしており、技術とかエンジニアリングに距離をおいており、我が国は技術という言葉はあるがエンジニアリングと言葉はない。もともと科学技術という言葉は頻繁に使われるが、科学エンジニアリングと言葉の組合せは存在していないのである。技術とエンジニアリングを同一視しているのではあろうか。あるいは、単に慣行的に使っているのではあろうか。米国の場合はテクノロジー(Technology)とエンジニアリングが言葉として使い分けられている。たとえば、

Johnson (1973)¹, Three Approaches to Big Technology: Operation Research, Systems Engineering, and Project Management

という論文がある。そして、この論文はいみじくも、後述するように、オペレーションズリサーチ(OR)、システムズエンジニアリング(SE)とプロジェクトマネジメント(PE)の歴史的な経緯について述べている。

このような状況を考えると、改めて SE について考える価値がありそうである。なお、上述のシンポジウムで、参加者に意見を求めるとして、年表「システム科学の歩み」が配付された。この「年表」を念頭において考えていくことにする。

2. 求められている科学技術

横断型基幹科学技術研究団体連合²(横幹連合)によると、2001年春に結成されたシステム関連学会連合懇談会に12学会が集まり、同年年末に「横断型科学技術の重要性について」(「提言」)を総合科学技術会議に提言した。そして、その後2003年に30学会を会員とする横幹連合が発足することになった。一方、産業界の支援団体として2004年に16企業が集まり横断型科学技術推進協議会(横幹協会)が発足した。

このような動きが起こったのは、「提言」に述べられているように、「・・・多くの企業の

研究開発は性能向上と生産コスト低減に力点があり、多くの大学の工学は、19世紀以来の縦割り文化が支配している。・・横断型研究のシーズはすでに、モデル科学、設計学、システム科学などすでに数多く存在しているが、有効に根付かせ継続的な発展を図るには国による体系的持続的な政策の実施と財政的な裏付け、さらにはその基礎を深めシーズを開発する中核的な研究組織が必要である。」という認識が共有されていたのであろう。

しかし、この提言からは「横幹科学技術」の中核となるものが見えてこない。そして、今回「システム科学技術」が掲げられているのは、その中核的存在になるであろうものが分ってきたのではなかろうか。もし、そうなら、一歩前進と言うべきであろう。

3. 「システム科学技術」とは

まず、「システム科学技術」として網羅する範囲を特定することが重要である。特に、「システム」と称する以上、なおさらである。

Johnson(1997) (前出)によると、大型技術(Big Technology)には、三つのアプローチがあり、それは、

- Operation Research (OR)
- Systems Engineering (SE)
- Project Management (PM)

であるという。すなわち、「システム科学技術」としては、OR/SE/PM を網羅すべきであると考え。もちろんその内容は現在の ICT 時代に相応しいものでなければならないが。この科学技術を持たなかったことが、あるいは今もなお持っていないことが、先の大戦での科学技術上の重要な敗因の一つであり、このグローバル時代にまた時代に取り残されることになりかねないといえよう。

ただし、ここで、一つ問題がある。それは「技術」という言葉である。海外では、Technology (技術) と Engineering (工術?) を区別している。この上述の論文が象徴しているように。したがって、「システム科学技術」は「システム科学工術?」とでも言わないと正確でないといえよう。また、我が国では、「エンジニアリング」を「工学」と訳しているが、エンジニアリングと工学は異なる (村上陽一郎(2006)³⁾ ことにも留意する必要がある。

4. OR について

今回のシンポジウムで配付された「年表」(意見を求める暫定版)では、OR の手法として”PERT/CPM”しか取上げられていないが、これは PM の手法の一つにすぎない。SE にもっと重要なシステム合成の手法として、線形計画法(Dantzig(1964)⁴⁾を取上げられるべきである。さらにいうならば、非線形計画法(Bazararaa & Shetty(1979)⁵⁾あるいは整数計画法(Schrijver(1986)⁶⁾も取上げるべきであろう。なお、最近になって整数計画法の実用的コードが利用できるようになったといわれている。

5. OR から SE へ

Goode & Machol(1957)⁷が「大型システムの設計入門」と題して SE についての書籍を発刊している。その三年後に、Flagle, Huggins, Roy,(1960)⁸による「OR と SE」をタイトルとする著書の存在がそれを物語っている。言うまでもないことであろうが、OR と SE には密接な関係があるのである。

しかし、我が国では、OR が一時一世を風靡した時代があったが、何故か SE 時代を迎えることはなかった。一説によると、OR から QC に向かってしまったからであると。

6. SE から PM へ

同様に、我が国では SE が PM に埋め込まれていないように思われる。これは、戦後石油・石油化学業界で盛んに技術導入が行われ、基本設計以降の詳細設計(Detailed Engineering)・調達(Procurement)・建設(Construction)という所謂 EPC 業務の PM をもって PM とする認識があったからであろう。また、それを助長するように、PMI (Project Management Institute) から PMBOK (Project Management Body of Knowledge (1987)) という EPC 業務を対象にしたガイドブックが発刊された。

しかし、その 30 年前に、Rase & Barrow(1957)⁹が、「プロセスプラントのプロジェクトエンジニアリング」と題する著書を発刊している。そして、プロセスの開発と設計も含む内容になっている。そして、この著書にプロジェクト組織と当然プロジェクトマネジャーの役割が述べられている。しかし、我が国の製造業では伝統的に機能別組織が一般的で、エンジニアリング専門企業を除いて、なかなかプロジェクト (タスクフォース) 型組織あるいはマトリクス型組織の編成あるいは運用が、いまでも難しいようである。

また、その約 20 年前には、Cleland & King (1968)¹⁰が、「システム分析とプロジェクトマネジメント」と題する著書を発刊している。の著書には、プロジェクトステージ (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO から引用) の定義があり、プロジェクトが開始される前に、

- ・ Identification of Project Idea
- ・ Preliminary Selection
- ・ Feasibility (formulation)
- ・ Evaluation (post-feasibility evaluation) and decision-to-invest

という 4 つのフェーズが設定されている。そして、メジャーオイルは投資決定までのプロセスをこの教科書通りに行っている。わが国では、Feasibility Study (F/S, 実現性調査) について言及されることがあっても、それもそれほど多くはないが、それ以上にプロジェクトアイデアの同定、あるいはプロジェクトの予備的選択まで、言及されることは稀である。

さらに、NASA の Systems Engineering Handbook(2007)には、プロジェクトマネジメント視点から、表 1 に示すようなシステムズエンジニアリングと重なりあう領域があるとされている。なお、この表には、コストコントロールの項目がないが、NASA の場合は、別に予算管理システムがある。

表 1 プロジェクトマネジメント視点のシステムズエンジニアリング

| システムズエンジニアリング | 重複領域 | プロジェクト統制 |
|---------------|-------|----------|
| システム設計 | 計画 | 管理計画 |
| 要件定義 | リスク管理 | 統合評価 |
| 技術解法定義 | 構成管理 | スケジュール管理 |
| 製品実現 | データ管理 | 構成管理 |
| 設計実現 | 評価 | 資源管理 |
| 評価 | 決定分析 | 文書・データ管理 |
| 製品移行 | | 取得管理 |
| 技術管理 | | |
| 技術計画 | | |
| 技術統制 | | |
| 技術評価 | | |
| 技術決定分析 | | |

一般に、特にソーシャルプロジェクトの場合には、最適と言えるものではなく、「より良い」プロジェクトしかないといわれている。ということは、F/S の良否よりも、複数のプロジェクト案をどのように集めて、どのように選択するかが、プロジェクトの良否を実質的に決定することになるとも言えるのではなかろうか。

7. PM と経済性評価(EE)

ケミカルエンジニアリングの世界では、AIChE (American Institute of Chemical Engineering)の CEP (Chemical Engineering Progress)にプロジェクトという言葉が初めて使われたのは、Rase & Barrow (1957) (前出) の 7 年前で、Dybdal(1950)¹¹ (Monsanto) の”Engineering and Economic Evaluation of Projects”という論文である。

ただ、ここでいうプロジェクトは、プロセス開発に関するもので、パイロットプラントワークに到達する以前に、エンジニアリング／経済性評価報告書 (Feasibility Study Report, 実現性調査報告書) の必要性を指摘し、その目次までも述べており、製品販売価格と投資利益の記述を求めている。

すでに述べたように、石油・石油化学業界では、既に工業化されたプロセスの技術導入が大勢を占めていたので、業界としてプロセス開発のプロジェクトとを十分な経験を積むことはなかった。これは、おそらく他の業界でも似たような状況だったのではなかろうか。

なお、石油・石油化学分野ではプロセス開発はスケールアップが主題であって、他の分野、たとえば機械あるいは電機のようにプロトタイプ開発とは異なっている。すなわち、

本質的に規模効果があるのである。すなわち、大規模であればあるほどプラントの経済性が高まるので、市場規模を踏まえた経済性評価が特に求められるともいえよう。そのことが、上述の論文に EE も同時に論じられたのであろう。

また、プロジェクト組織についても、Morton(1950¹²)が、” Organization of Chemical Engineering Projects というテーマの論文を投稿している。そして、当時はプロジェクトマネジャーに”Know-it-all”, ”Do-it-all”という能力が求められていたが、やがて大規模なプロジェクトにはマトリクス組織と管理型マネジャーが、特にコントラクターでは、常態化するようになっていった。

一方、EE については、Happel らが、

Chemical Process Economics (1958)¹³

を発刊し、

Project Evaluation and plant design using the Venture Worth Method (1961)¹⁴

を CEP に発表している。

また、因みに English が、

Economics of Engineering and Social Systems (1972)¹⁵

を発刊している。

PM と EE は、特にプロジェクトライフサイクルの最初のフェーズで密接な関係を持っているといえよう。それは、言うまでもないことではあるが、EE がプロジェクト自体の成否の鍵を握っているからである。

8. システムズアプローチ

今回のシンポジウムでの情報処理推進機構(IPA)/ソフトウェア高信頼化センター(SEC)の発表によると、ここ数年間にわたって社会経済活動に多大な影響を及ぼした情報システムの障害が、2008年から2009年にかけては一旦減少したが、その後2012年にかけて漸増しているという。最近はさすがに余り騒がれなくなってきたが、情報システムプロジェクトのQCD成功率は三分の一と言われ続けてきた。

そして、米国では特定の学問分野に偏らないシステムズエンジニアリングを標榜して、INCOSE (International Council on Systems Engineering)が、そのエンジニアリングプロセスとして図1に示すVカーブプロセス¹⁶を推奨している。もちろん、プロジェクトチーム要員のコード開発能力がその成否を左右してはいるが、出発点であるシステム要求の妥当性も重要な要因になっているのは公知の事実である。

これに対して、上述のIPA/SECは、経営者、業務部門が参画するシステム開発および取引のために、共通フレーム2007(2007)¹⁷あるいはITプロジェクトの「見える化」上流工程編(2007)¹⁸などを発刊している。この両著に共通しているのは、「システム要求」の策定をコントラクターの視点から上流と呼んでいることである。

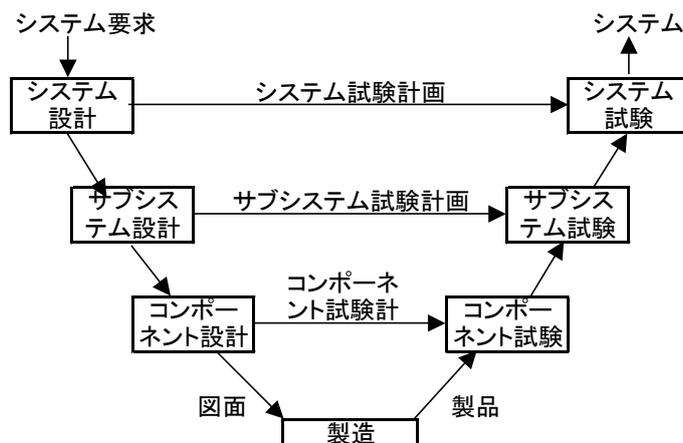


図 1 Vカーブエンジニアリングプロセス

そもそも、システム要求が与えられるという発想自体に問題がある。システム要求は言ってみればシステム設計基準であって、プロジェクト実行の意思決定する側が主体的に関わるべきもので、もし与えられれば始めるという考え方を少しでももっていることに問題がある。

このことが、少なからざる混乱を招いている。たとえば、すでに述べたように、ソフトウェア業界では、上流工程、超上流工程、さらには源流工程という言葉がしばしば使われる。これらの工程はもともと、システムを運用する側の視点に立てば、下流工程のはずだからである。これが、再三述べているように、日米を問わず情報システムプロジェクトのQCD 成功率を依然として 3 割程度に押しとどめている最大の理由であろう。いずれにしても、これはシステムエンジニアリングとプロジェクトマネジメントの両者にとっての共通の課題であるといえよう。

9.まとめ

「システム科学技術」は、オペレーションリサーチ、システムズエンジニアリング、そしてプロジェクトマネジメントを網羅するものでなければならない。そして、システムエンジニアリングであれ、プロジェクトマネジメントであれ、経済性評価がシステムの最適化、ひいてはプロジェクト成否の判断基準になっているのである。

ところが、我が国では、未だにプロジェクトの事前段階での経済性評価ひいては実現性調査が定着しているとはいえないばかりでなく、いざプロジェクトの実行段階でもプロジェクト組織の編成あるいは運営もあるべき状況にないのではと危惧するものである。

文献

¹ Johnson, S., Three Approaches to Big Technology: Operation Research, Systems Engineering, and Project Management, Technology and culture, Vol.38, No.4

-
- (Oct.1997), pp. 891-919, John Hopkins Univ. Press
- ² 横断型基幹科学技術研究団体連合、<http://www.trafst.jp/>
- ³村上陽一郎、工学の歴史と技術の倫理、岩波書店、2006
- ⁴ Dantzig, G.B., Linear Programming and Extensions, Princeton Univ. Press, 1964
- ⁵ Bazaraa, M.S., Shetty, C.M., Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, John Wiley & Sons, 1979
- ⁶ Schrijver, Theory of Linear and Integer Programming, John Wiley & Sons, 1986
- ⁷ Goode, H.H., Machol, R.E., Systems Engineering- An Introduction to Design of Large-scale Systems, McGraw-Hill, 1957
(森口繁訳、システム工学—大規模組織の設計への手引き、日科技連、1960)
- ⁸ Flagle, C.D., Huggins, W.H., Roy, R.H., Operations Research and Systems Engineering, John Hopkins Univ. Press, 1960
(日本能率協会 EDP 委員会 (訳者代表国沢清典)、OR とシステムズ・エンジニアリング、日本能率協会、1961)
- ⁹ Rase, H.F., Barrow, M.H., Project Engineering of Process Plants, John Wiley and Sons, 1957
- ¹⁰ Cleland, D.I., King, W.H., Systems Analysis and Project Management, McGraw-Hill, 1968
(上田惇訳、システム分析とプロジェクト組織、ダイヤモンド社、1969)
- ¹¹ Dybdal, E.C., Engineering and Economic Evaluation of Projects, CEP, Vol. 46, No.2, pp.87-66, 1950
- ¹² Morton, H, Organization of Chemical Engineering Projects, CEP, Vol.46, No.10, pp.542-546, 1950
- ¹³ Happel, J., Chemical Process Economics, John Wiley & Sons, 1958
(東洋レーヨン (株) 工務部工務研究所化学工学研究室訳、化学プロセスの経済性評価、化学同人、1966)
- ¹⁴ Happel, J., Kapfer, W.H., Project Evaluation and plant design using the Venture Worth Method, CEP, Vol.57, No.8, pp.46-50, 1961
- ¹⁵ English, J.M., Economics of Engineering and Social Systems, John Wily & Sons, 1972
- ¹⁶ 最新システムズエンジニアリング情報館、V字カーブ、<http://se.rdy.jp/vcurve.html> (2014/01/09)
- ¹⁷ 情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター、共通フレーム 2007～経営者、業務部門が参画するシステム開発および取引のために～、オーム社、2007
- ¹⁸ 情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター、IT プロジェクトの「見える化」日経 BP 社、2007