

# システムス・エンジニアの育成

大阪大学工学部 中西 義 郎

## 1. は し が き

産業や社会の広範な分野で、大規模で複雑なシステムに対する科学的なアプローチの必要性が日を追って現実的なものになってきている。システム問題に対する科学的なアプローチがすなわちシステム工学にもとづくアプローチであり、それを実際に行う働き手となるのがシステムス・エンジニア (SEr) である。したがってより優れた SEr がいてはじめてシステムに関する仕事がより満足的に達成されまたシステム工学そのものがより進展するといえるので、産業界や社会がより優れた SEr を要求するようになるのもまた当然の帰結といえる。

ところで、システム工学はその発生起因を、専門化が極めてはげしいという様相をもった工学分野の動向と対象とするシステムの複雑さの増大にもつものであるだけに、それは現在の工学各分科とは質的にちがった性格をもつ。それゆえ、システム工学を行わんとする人をそれを実際に行うという人材たらしめるには特別の教育訓練を必要とする。

以上が SEr 育成のための教育訓練という課題の発生してきた事情であり、この課題に対する解答を出すべく工業関係機関、工業関係学校および協会などが実際に SEr の育成のための教育訓練を行いながら、かつその方策の確立についての研究を進めているというのが現状である。

ここではこの課題を産業界や社会が「SEr の育成をどのようにして行うか？」という表現で陳述をとって提出した問題としてとらえ、

問題の意味	(1) SEr
	(2) SEr 育成のための教育訓練
解へのアプローチ	(3) SEr 育成のための教育訓練の具体策
解の例	(4) 米国におけるシステム工学教育

の形で、先進している米国の事情を参考にとって概説することにする。

## 2. SEr

SEr はシステム工学の基本的な考え方にもとづいて、

システム工学を必要とする領域で SEr の果すべき実際の課題にあたり、これをやり遂げることのできる技量をもった人材といえる。したがって、これまでに述べられてきたところから SEr とはどのような性格の人材であり、またどのような資質と技術をもった人材でなければならないかは推察がつくが、それは SEr 育成という問題を解くための指標になるものであるから以下できるだけ明確にしてみる。

(1) システム工学の対象とするシステムは産業や社会が、さらに高度の発展を目指すことから出てくる要求を満たすためのものである。SEr はこのようなシステムの創造を対象にして働くのであるから、その視野は現在社会や現在産業界に横たわる諸問題を見渡せるだけの充分に巾の広いものでなければならない。

(2) システム工学の対象とするシステムは大規模で複雑なシステムであり、このようなシステムの創造はチームによって遂行される。SEr はこのチームという工学実行体に指導者としてかあるいはその構成員として参加するのであるから、指導者としての適性が構成員としての適性かのいずれかをもつものでなければならない。

(3) システム・チームが工学目標の達成にあたってシステム問題を解決してゆくときにとる方法は科学的方法である。したがって、SEr は科学的方法の真意を体得し、その方法を駆使しえる人、すなわち科学者でなくてはならない。

(4) システム・チーム、したがって SEr が解決しなければならない問題は工学問題であって理学問題ではない。その意味で SEr は工学者でなければならないし、またさらにシステム工学に関する工学者でなければならない。

システムに関する工学者とはいわばシステム工学の専門家であり、それはシステム工学を実行してゆけるだけの素養、能力、技術を身につけた工学者を意味する。具体的にどのような素養、能力、技術をもつべきかは SEr の行うべき仕事の内容をつぶさに調べてゆくことによりて明確にできる。これについては J.R. Moore 氏<sup>(1)</sup> の所説が適切であるのでそれを借りることとする。

「この所説はシステムに関する仕事が進んでいく各段階での仕事の内容と、その仕事を進めて行くために SEr

が具備しなければならない素養，能力，技術を整理したものであるが，ここでは後の部分だけを示しておく。

#### A. 初期の段階—企画と分析

a. いくつかの科学の分野について基礎的な知識をもつこと。

b. 関連ある工学分野の各装置に関する技術現状についての知識をもつこと。

c. 実際の動作条件のもとでの同種類の装置について経験をもつこと。

d. 未経験の分野に対しては想像力をもつこと。

e. 複雑な分析問題において，とくにエラー分析，安定度分析，確率理論について簡便法を知っていること。

f. 最も大切なことがらを最初にやるため，仕様や各種の問題における相対重要度を定める才能をもつこと。

g. 分析，設計，調達，製作，エンジニアリング試験，設計変更，契約交渉，顧客関係における時間とコストに関係したシステム業務の遂行に影響を与えるすべての要因について経験と洞察力をもつこと。

h. 技術問題，経済，マネジメントに関して直観力をもつこと。

i. 自身も創造力をもっているが，他の組織の仕事を評価する点において客観的であり，したがって最良の装置，方法および問題の解決法がわかること。

#### B. 中期の段階—開発，設計，製造

Aでの段階で要した素養，能力，技術のほかに，

a. 口頭および文書による表現能力

b. 実際的な技術目的を決定し，他の人々の業務を組織する能力

c. 会合を有効に指導する能力

d. 技術的，人的要素が満足でない場合でも，問題の真実点に達するように目標の検討を行うこと。

e. 戦略的な要因を認識する能力

f. 試験データが貧弱である場合も，過剰である場合も，よくこれを消化し，評価し，かつ説明する能力

g. 重大事態になる以前に問題を予知する能力

h. システム・プログラムを遂行する際に，組織中で共に働くべきすべてのエレメントの能力とその働かせ方とについての知識

i. 広い階層の人々と同調する能力

j. 技術の現状についての詳細な知識

k. 極めて大きい仕事能力—ほとんど同時に多様な問題を処理する能力

l. 問題を単純化する素質

m. 退屈な瑣繁事に没頭できる能力

n. 進取の気象，精力，健康

#### C. 終期の段階—システムの試験，保守，改変

この段階では創造的才能のほかに次のような諸項を達成する諸能力を総合したものが必要である。

a. システムが合格であることを証明するための必要な試験のプログラムを作成し，修正する。

b. 全システムの試験結果を仕様と関連して説明する

c. システムに誤動作がみられる際にその原因を診断する。

d. 製造あるいは保守のためのコストを節減し，かつ機能向上に役立つ簡単化と設計改善法を認知する。

e. システムの一部が他のすべての部分におよぼす効果を調整する。

f. システムの次のモデルにもちこむべきサブシステム，コンポーネントの新しい進歩を敏感に察知する。

g. 保守の問題と装置についての見識をもつ。

ここに述べられたことから，SErとしてもっていなければならない素養，能力，技術を具体的な形で知ることができるが，これらを総合して SEr は

(1) 推理力，直観力，統率力，近取の気象を総合したものをもっていなければならない。

(2) 科学，工学の基礎に徹しているとともにぼう大な記憶をもち，さらにいくつかの技術を知っていなければならない。

(3) 時間と能力の多重的な使用が要求されるような情況のもとで長時間働きうるだけの体力をもっていなければならない。

(4) 人間関係に対して洗練された感覚をもち，文書および口頭による意志表示に熟達していなければならない。

### 3. SEr 育成のための教育訓練

前節で示したことから，SEr と呼ばれるにふさわしい人材を育成するための基本的な要件として次の2つをあげてよからう。

(1) SEr たりうるに適した生れつきの素質をもった人材を見出すこと。

(2) そのような人材にSErとしての教育訓練を施すこと。

したがって，この基本的な要件を現実のものにすることがすなわち SEr の育成である。このことは社会や産業界が SEr の育成 についてあるプログラムをもつことを意味し，その中心課題として学術的な教育訓練を主体にした教育問題が浮びあがってくる。

以上の表現は SEr の育成には教育訓練が必要である

ことをはじめから認めた形になっており、いままでにもシステムを対象にした工学がなかったわけではなく、また優れた SEr と呼ばれてよい人材がいなかったわけでもない点からみて、事実特定の教育訓練が必要なのかという点に疑問が残る。これについては、これまでのSErがそう呼ばれるにふさわしい素養、能力、技術を身につけたのは、その個人の努力と経験によるものであり、このような形すなわち自然発生的な形での SEr としての成長には多大の時間を必要とし、また量的にも限定されることを述べておけば充分であろう。

#### 4. SEr 育成のための教育訓練の具対策

前2節で述べたところから問題は SEr を育成するために「どのような被教育者に対して、どのような教育機関で、どのような内容の教育訓練を行うのか」を決めることになり、その解は具体的にされた教育の形態となる。この問題はさらに、SErとして実務につける人材（出力）を出すために、適当な被教育者（入力）に、学術的な内容を主体にした教育訓練（過程）を与える場（教育システム）を、現在の社会機構（周囲条件）の中に創設するとも書きかえられる。したがって問題の解は周囲条件のもとにおいて最適な入力—過程—出力をもつシステムであり、それらは複雑に関係してくる諸要素を十分に考慮したうえで導出されなければならない。

このように問題の性格がシステム工学における問題の性格と類似であるところからみて、その解へのアプローチにはシステム工学でとられるようなアプローチを必要とする。

このようなアプローチの過程での種々の問題についての詳論は盡しえないので、ここではいままでに出されている解の形とそれが出てきた理由の概要について概説するととどめる。

##### (1) 大学院課程

まず現在の社会の機構からいって、いままでの工学の各分野でそうであったように SEr 育成の教育訓練を大学で行うのが理想的である。すなわち SEr としての教育訓練が正規の教育機関でできるものであれば、それがもっとも望ましい形である。

SEr 育成のための教育訓練にこの形をとるとして問題になるのは、大学において少くとも他の工学各分科と同じほど満足的に SEr として育てあげるための教育訓練ができるかということである。これについては次のような考察のもとにその困難性が指摘できる。

(a) 現代の社会通念からいって大学教育での被教育者のほとんどは若年であり、社会や産業の実務の世界を経

験していない。これらの点からみてこのような若い学生に大規模で複雑なシステムにおける問題を意識させることは無理である。

(b) 工学教育では理論と実地を密接に関連させることによって真に効果のある教育訓練が望める。このことは他の工学分科でも指摘されていることであり、そのため実験室における教育訓練が重視されているが、システム工学の場合大学内部に実際のシステム問題を充分にもちこむことができない。

したがって SEr の教育を大学で行うとすれば、このような困難性を軽減しうる形を考え出さなければならない。その形として考えられるのが大学院課程である。この形は上に示した困難性を被教育者を規定することで軽減解消しようとするもので、この場合被教育者としてはまず SEr としての教育訓練を受けるに理想的でないまでもそれにつながれると考えられる学部課程を終了し、かつ数年間システムに関係ある実務についてきた人材が考えられている。

この場合の学部課程としては電気工学の課程がよいとされているが、これは電気工学の分野が例えば系の安定性に対する判定法や情報理論およびランダムな信号の処理というような分野で展開された統計的設計法あるいはラプラス変換や複素周波数などの概念を用いた系の解析法などにみられるように、システムにつながる問題を他の学科に比べてより多く含んでいるからである。だからといって電気工学がシステム工学に直接つながるというのではない。

SEr 育成のための教育訓練を大学院課程で行うという方法は現在のところもっとも適当な形であるとして広く支持されているものである。

##### (2) 学部課程

SEr 育成の教育訓練を大学院課程で行うとして、その課程に入ってくる学生がより高度の教育訓練を受けえるレベルにあるほど、そこでの教育訓練がより高度のものになり、優れた SEr の育成という目的にかなうことになる。そのためその下部教育機関となる学部課程が問題となるのは当然である。

このような観点からは、先に述べたように学部課程では SEr としての教育訓練が困難であるとして理想的であるとはいえない電気工学課程を履習させるよりも、大学院課程での教育訓練により密接につながる学部課程のあることが望ましい。

このような別の学部課程を設けることには、

(a) 学部課程の学生の程度からみて、教育訓練の内容およびレベルにおいて制限をうけるので、実質的に意図

するような教育が可能であるか。

(b) 学部のあり方からいってその卒業生のすべてが大学院を目指すものであるから、この学部課題をでて直ちに実社会に出てもそれなりに受入れられるか、という問題が出てくる。

前者に対しては、現在の工学各分科の学科課程から多くの最終的な学科をとり去り、かわりに概念と理論だけの強固な骨組みを入れて1つの分野に非常に深入りすることなく、巾広く教育することおよびシステム工学において有用であり、かつその援用を必要とするような技法のいくつかを修得させることは可能であるとみられるし、後者についてはこのような学部課程だけでもテクニカルプログラマあるいは数学的解析者として充分社会や産業界に貢献することができ、社会や産業界もこのような人材を受け入れられるとみる傾向が強くなってきている。

### (3) 実務についた上での教育訓練および 大学教育に対する産業界の役割

SErの育成にあたって産業界は次に述べるような点で、白らがそのための教育訓練を行うとともに大学教育に協力することが必要である。

(a) SErに必らずどのような工学者の育成においてもより高所からの観点にたてば、正規の教育機関での教育はその1部を受持つに過ぎない。その育成にあたって実務についた上での訓練と経験は正規の教育と同じく本質的なものである。したがって産業界では実務についたSErをより優れたSErたらしめる教育訓練が必要である。

この場合、形としては学校における教育につづいて、学校における教育訓練と深く関連をもつ実際的な問題をあつかうプログラムにしたがって臨床的教育訓練の期間をつくるのが最適である。

この時期に被教育者を放置しておくと、被教育者が技術的道具の活用にとくなくなったりまたある1つの技術を固守することになって、被教育者の大成に重大な障害になることは充分注意されるべきである。SErの場合とくに十分な指導を必要とする。

(b) 現状では正規の教育機関が産業界にSErを充分に供給している状況になっていないから、白らがその育成にあたらなければならない。この教育訓練は社員の再教育という形になる。

なお、システム工学自体発展途上のものであるから、その進展に応じ適当な時期にSErを再教育するという形での教育訓練は今後必要となってくる。

(c) 大学院課程のところ述べてのように、大学内部にシステム問題を充分にもちこむことができないので、実

際問題をもっている産業界や社会が大学院における教育訓練を充実するために大学に協力してやらなければならない。例えば進んだ学生を産業界や社会が引受けて実務についているSErとある適当な期間、同時に仕事をさせるような配慮をしてやるということである。

### (4) 教科内容

教科内容については、一般論的には2節で述べたSErとしてもたなければならない素養、能力、技術を身につけさせることのできるものといえ、

- (a) 科学および工学の基礎
- (b) システムの解析と構成
- (c) プロジェクトの管理
- (d) SErとしての教養

をあげることができる。

システム工学自体発展途上のものであるだけにその内容を確定的なものとして考えないのがよく、その進展にあわせてその編成を考えてゆくのがよい。現時で考えられている具体的な教科内容例は次節で述べる。

## 5. 米国におけるシステム工学教育

米国ではSEr育成のための教育訓練が具体的な形をとって実行されている。すなわち現実にSEr育成という問題の解をもっているのだから、それを解の例としてとりあげておく。

### (1) ペンシルバニア大学・大学院課程

ペンシルバニア大学(Moore School of Electrical Engineering)では大学院課程の1つにシステム工学に関する教育課程をとり入れている。この課程は電気工学の修士学位をもっている程度のレベルにある被教育者を対象にして考えられたもので、事実学生のほとんどは電気関係の各会社で選ばれ、大学においてその学術的素養の認められたものである。

教育はシステムに関する仕事を行ってゆく上で、必要な広い視野と技法とを習得させることを目的とし、技法は特定の課目で広い視野は 세미나で主として養うようにしている。そのカリキュラムは24学期単位で編成され

Probability	(4)
Information theory	(4)
Theory of Control	(4)
Statistics or Human Engineering	(4)
Seminar I in SE and OR	(4)
Seminar II in SE and OR	(4)

となっている。

セミナーがカリキュラムの柱となっており、その編成には常に検討が加えられ、発足以来改変が重ねられてきて

いる。現在のところ、第1のセミナーは3段階にわけて、

(a) システム工学というものを明確にすることを主眼におき、formulation of the problem, data gathering, model construction, analysis of the model development of conclusions, dependence of conclusions on assumed parameter values, presentation of the problem, implementation of recommendationsなどを内容に含めてシステム工学の種々の面からの詳細な討論

(b) 学生の選んだトピックスについての文献研究および問題の展開

(c) システム工学およびORにおける特定問題についての討論とその展開にあて、第2のセミナーはカリキュラム中に入っていない queuing theory, value theory, model theory, theory of games programming, simulation, reliability などの技法についての討論にあてられている。

以上がシステム工学専攻の公式カリキュラムであるが、学生のうち比較的狭い範囲での特定のシステムについての専攻を希望する場合には、他の大学院課程と関連させ履習できるようにしている。

(2) アリゾナ大学・学部課程

アリゾナ大学には大学院課程だけでなく学部課程にもシステム工学科が設置されている。

この学部課程では、システム工学に関する教育の基盤が数学モデルの作成と取扱い、人間要素に関する問題の取扱いおよび複雑なシステム問題を遂行しうに充分広く、かつ専門的な訓練にあるとして、次のような4年制140学期単位のカリキュラム案が検討されている。

Common core in Engineering	(77)
mathematical models	(18)
system theory	(15)
human factors	(15)
design experience	(15)

このカリキュラムは発足当初につくったカリキュラム

Common core in Engineering	(77)
nontechnical electives	(18)
advanced calculus	(6)

probability and statistics	(6)
matrix analysis	(3)
numerical method	(3)
digital computer programming	(3)
analog computer programming	(3)
operational analysis	(6)
automatic control	(3)
machine logic	(3)
technical electives	(9)

の欠陥に検討を加え、その改編案として研究中のものである。

この学部課程を卒業した学生は、将来の進学のための素養ができてきているというだけでなく、また直ちに産業界に出てもテクニカルプログラマーあるいはマセマテイカルアナリストとして貢献しうると学内外で評価されているようである。

(3) SDC におけるシステム工学教育

System Development Corporation は計算機プログラミングの作成、システムの解析、指揮統制システムの設計などを仕事にしている会社で、仕事の性質上システムの設計を特技とするような専門家を必要としている。しかし現状はシステム工学者を雇い入れることができないし、経験を重ねて行くというだけの形での養成法ではあまりにもテンポが遅すぎるので、その対策として養成のための教育を自社で考えてこれを実行している。

ここでの教育計画はこの教育によって被教育者に

- (a) 標準的な解析および設計の技法が使えるような問題であることがわかる能力
- (b) 通常のレベルでこれらの技法を使える能力
- (c) 適切な専門家を必要とする問題であることのわかる能力
- (d) システム問題について各専門家と意味のある疎のできる能力
- (e) 専門家によって出された解答の意味がわかる能力を与え、それぞれの専門家にうまく適切な問題を与えながら大きな問題の展開を見通せるシステムゼネラリストを養成することを目標にしたものである。

教育課程に含めている内容は次表に示しておく。

表 1

Subject	Hours	Subject	Hours
Engineering		Mathematics	
Design Digital Systems	22.5	Modern Mathematics	15
Design Automatic Systems	15	Laplace Transforms	15

Programmting		Graphical Methods	15
Digital Computers	15	Sampled Data Systems	15
Basics of Programming	15	Game Theory	7.5
		Matrix Calculus	7.5
General Discusion		Dynamic Programming	15
Simulation	15	Linear Programming	15
System Equipments	15	Calculus of Variations	7.5
Preliminary System Design	15	Statistics	15
Man-Machine Systems	15	Nonlinear Analysis	15
Organization Methodology	22.5	Queueing Theory	22.5
Organization Workshop	15	Information Theory	22.5
SDC Techniques	15	TOTAL	367.5

被教育者は大学卒業後10~15年を経人達であるが、他の責任ある仕事を免除し、完全な学生として毎日6時・12週間の教育を受けるようにしている。ここで、30・40代の職責をもった人に自由に課目を選択させたり、仕事の間隙に教育したりしたのは、効果ある教育はできるものではないとしている考え方は注目すべきであろう。

## 6. おわりに

現在のところわが国におけるシステム工学についての教育は、たかだか大学のある工学学科での教科内容の1つとしての、また産業界の人々に対する入門程度の講習会の形で行われているに過ぎない。

しかし、SErの育成という課題が産業や社会の発展がもたらす必然的なものであるとすれば、当然今後わが国においてもそれは重要な課題として出てくるはずであ

る。わが国でSErの育成のための教育訓練を考えるにあたっては、わが国なりの国情にあった独自の教育システムを開発することが必要であろう。

したがって本稿ではSErの育成という課題を問題形式でとらえ、その方策を導き出すという形をとってみた。説明のために先進している米国の事情を参考資料としてとっているが、それはあくまで参考であって重要なのはその方策を導き出すにあたってとるべき態度であることを強調しておきたい。

## 文 献

1. Panel Discussion "Educational Needs in Systems Engineering", 1958 IRE National Convention Reord, Part. 4, P.108
2. Proceedings of the Workshop on Systems Engineering, IRE Transactions on Education, Vol. E-5, No.2, P.57,1962