

# システムエンジニアリングマネジメント のすすめ

2023年12月9日

神奈川大学 石井 信明  
n-ishii@jindai.jp

# 本日の内容



1. 背景と目的
2. システムエンジニアリングはどのように認識されているのか
3. システムエンジニアリングプロセスとマネジメントの視点
4. システムエンジニアリング教育と視点
5. まとめ

# 背景と目的 情報技術の発展が社会にもたらしていること

- 人々のシステムへの期待が増大
  - ✓ 人の言葉を理解して自律的に働き、人を助ける、人間と同等かそれ以上の能力を持つシステム、など
- システムは複雑で大規模化
- 要求は従来にもまして高速に変化

- ① システムへの要求と目的を理解し、それらを最もよく達成するために、
- ② システムの構成要素、制御機構、インターフェースなどを分析・設計し、ライフサイクル指向でシステムを創造する、
- ③ 分野横断的な技術を持つことが必須

そのための技術とフレームワークが、  
「システムエンジニアリング」

# 背景と目的 システムエンジニアリングの成り立ち

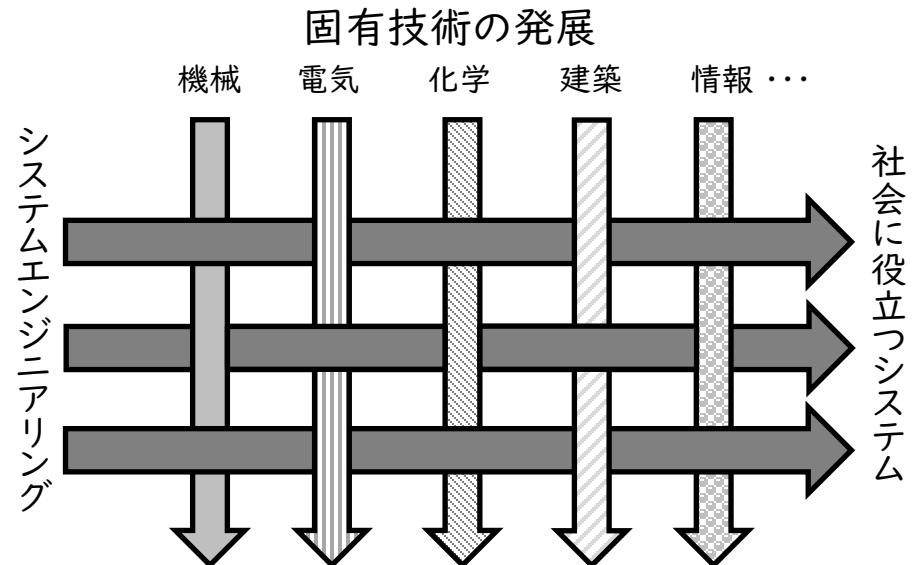
1950年ごろから、「システムエンジニアリング」として成立

本来 システムエンジニアリング ≡ エンジニアリング

技術の細分化が進んだ現在では、

- 機械工学科を卒業しても自動車を設計できない、
- 化学工学科を卒業しても、プラントを設計できない。

システムエンジニアリングは、  
固有技術をつなげる**緯系**の  
**役割**を持ち、  
独立した技術分野として成立



# 背景と目的 システムエンジニアリングの変遷

- 1950年ごろから体系化が進む
- 1969年には**米国国防総省 (DoD)**がMIL-STD-499として規格を制定
  - ✓ 国防総省の調達では、装備品の設計から廃棄まで規格に準拠したライフサイクルでの対応を要求
  - ✓ システムエンジニアリングが民間に広まる一因
  - ✓ 米国国防総省は、WBS, ソフトウェア工学, 構成管理, EVMなどの規格も制定

DoDは、  
システムエンジニアリ  
ングの普及を  
リードする存在


	初期規格	改訂	現在(2012)
WBS	'68 MIL-STD-881	('75) 881A、('93) 881B ( '98) HDBK881、('05) HDBK881A	'11 MIL-STD-881C
システム工学	'69 MIL-STD-499	('74) STD499A、('93) STD499B	'95 民間規格へ (ISO15288、EIA632A等) '95 MIL-STD-499C
ソフトウェア工学	'85 MIL-STD-2167	('88) 2167A、('94) STD498	'98 民間規格へ (IEEE/EIA 12207)、Model
構成管理	'92 MIL-STD-973	('09) STD973(Notice5) ( '01) HDBK61A、('02) HDBK61B	'09 民間規格へ (EIA649、ANSI/EIA649)
EVM	'59 PERT/COST	('67) DoDD、DoDI7000.2、 ( '91) DoDI5000.2、('96) DoD 5000.2-R	'09 民間規格へ (ANSI748)

# 背景と目的



本報では、

- 我が国におけるシステムエンジニアリングとそのマネジメントへの認識について検討
- 高等教育におけるシステムエンジニアリング教育の課題について考察



システムエンジニアリング  
は  
どのように認識されているか

# システムとは いくつかの定義

「system」はギリシャ語の「*systema*」が由来

→ 「組織化された全体 (organized whole)」との意味

- ① Military Standards (MIL-STD-499): 運用上の役割を実行またはサポートできる機器・スキル・技術の複合
- ② EIA/IS-632: 定められたニーズや目的を満たす能力を提供する人・製品・プロセスが統合された複合体
- ③ Merriam-Webster's Collegiate Dictionary: 規則正しい相互作用、または統一された全体を形成する項目の相互依存グループ



# システムとは いくつかの定義

INCOSE (International Council on Systems Engineering)では、以下のようにシステムを定義

- 「システム」は要素1つだけでは得られない結果を生成するため、異なる要素を構成・収集したもの
- 要素(部分)とは、人・ハードウェア・ソフトウェア・機能・方針・文書など
- システム全体の付加価値は、要素(部品)間が「どのように関連し合うか」で産み出される

# システムエンジニアリングの定義

## International Council on Systems Engineering (INCOSE)

- 成功するシステムを実現するための学際的なアプローチであり、手段
- 開発サイクルの早い段階で顧客のニーズと必要な機能を定義し、要求を文書化し、問題全体を考慮しながら設計の統合とシステムの検証を進めることに重点
- すべての顧客のビジネスと技術の両方のニーズを考慮し、ユーザーのニーズを満たす高品質な製品を提供することが目的

## 米国防総省(DoD)

- 承認された運用ニーズと要求を、運用に適したシステムブロックに変換するためのアプローチ
- 要求分析、機能分析と割り当て、設計合成と検証、システム分析と制御のトップダウンの反復プロセスで構成
- 製品の設計、製造、試験・評価、およびサポートに浸透
- システムエンジニアリングの原則は、性能、リスク、コスト、スケジュールのバランスに影響を与える

# システムエンジニアリングの定義

## Blanchardが好んで使っている定義

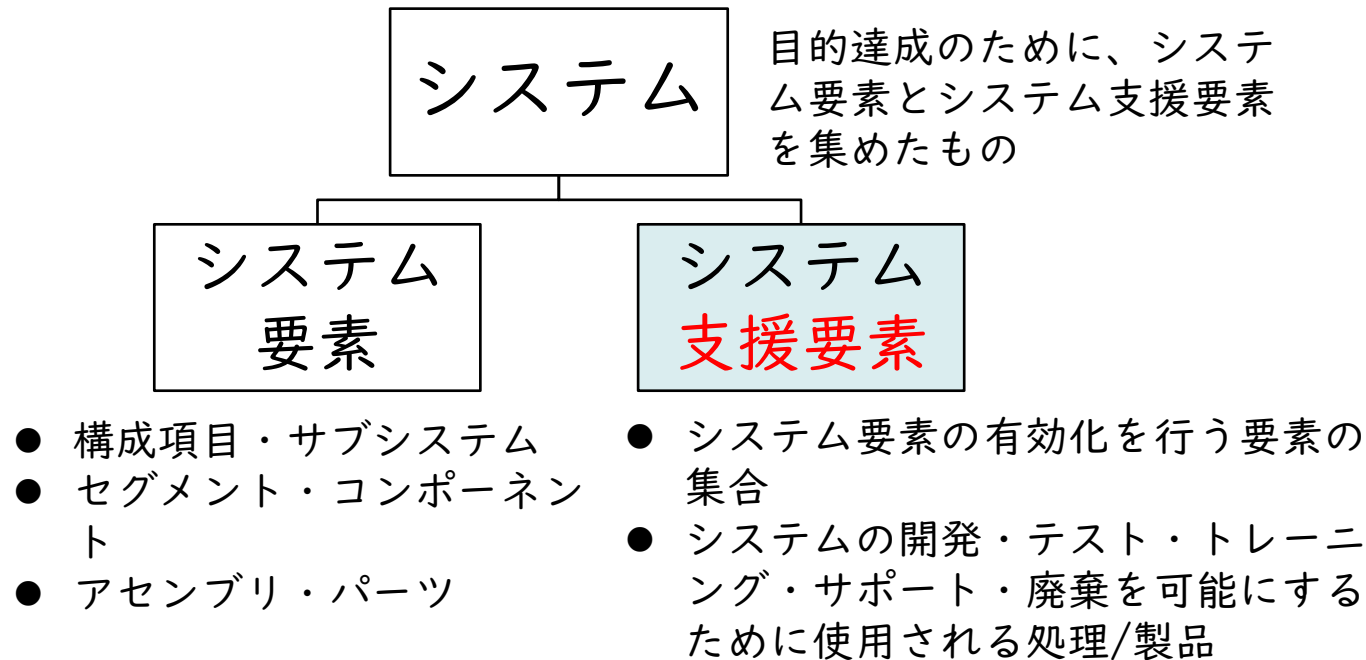
Benjamin S. Blanchard, John E. Blyler,  
System Engineering Management Wiley 5th  
Eds. (2016)

科学的、工学的な努力により、以下のことを行う。

- (1) 定義、合成、分析、設計、試験・評価、検証の反復プロセスを用いて、運用上のニーズをシステム性能とシステム構成の記述に変換する。
- (2) 関連する技術を統合し、全体の定義と設計を最適化し、すべての物理的、機能的、手続き的なインターフェースの互換性を確保する。
- (3) 信頼性、保守性、ユーザビリティ（人的要因）、安全性、生産性、サポート性、持続可能性、廃棄性などの要因を統合し、コスト、スケジュール、技術的な性能目標を達成するための総合的なエンジニアリング活動を行う

# 定義に見るシステムエンジニアリングの特徴

- システム全体を俯瞰する **トップダウンアプローチ**  
→ 全体から要素へ
- 全ての段階に対応する **ライフサイクル指向**  
→ 生産、運用、サポート、廃棄への影響を考慮



# 定義に見るシステムエンジニアリングの特徴

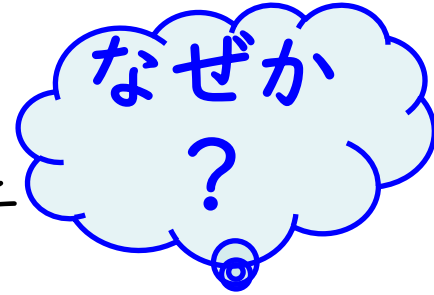
- システム要求を最初に特定し、具体的な設計目標に結びつけ、**適切な設計基準**を策定
  - 「フロントエンド」作業の重点化
- **学際的な共同作業**
  - さまざまな設計分野とその相互関係の理解
- **インターフェイス管理**
  - 複雑なシステムのインターフェースを正しく管理

# システムエンジニアリングへの認識

日本と欧米では、システムエンジニアリングへの認識が異なる

## ● 日本

- ✓ 手法中心のボトムアップアプローチ
- ✓ 作るまでに重点
  - ライフサイクルでシステムを捉える視点が希薄
- ✓ 全体よりも細部に重点
- ✓ メリハリよりも総花を重視
- ✓ 要求以外のことも丁寧に仕上げる → 調和を大切にする



## ● 欧米

- ✓ システム思考に基づくアプローチ
- ✓ まずは対象を包括的に捉える
- ✓ 要求の達成を第一義とする
  - メリハリを付け、要求に関わりの少ないことは捨てる

# システムエンジニアリングの基盤

## <欧米流システム思考とシステムズアプローチ>

### ● システム思考

- 対象を**包括的に捉える**
- 複雑なシステムの根底にある「構造」と「要素」を捉え、影響の大小を識別する → **メリハリ**を重視
- **原因と結果の関連性、変化の過程**を見る
- 対象を**階層構造**でとらえる
  - ・ BOM、WBS、PBS、……

### ● システムズアプローチ

- 対象を**システムとして認識**
- 解決すべき問題を**システム思考**に基づいて認識
- 問題にシステム科学を結集して取り組む
- 解決の最適な方策を得ようとする“態度”

# システム思考の源流はギリシャ哲学

プラトンは、対話篇の1つ「パイドロス」で、ソクラテスの言葉として、何であって、その本来の在り方について次のように考察すべきと述べている。

- 考察の対象を包括的にとらえ、
- 次にそれを条件に応じて場合分け（機能に分け）し、
- 機能間の相互作用を見定めるべきことを述べている




ラファエロ  
アテナイの学堂のプラトン

システム思考そのもの

東洋では、学問とは古の書物を読んでそれぞれに注解を施すことだと理解されていたのであり、考察対象の包括的な把握と遺漏のない場合分けによって学問が成立するという発想はなかった。むしろこの手法は西洋において古の時代に発案され、それが知的財産として継承されてきたのである。

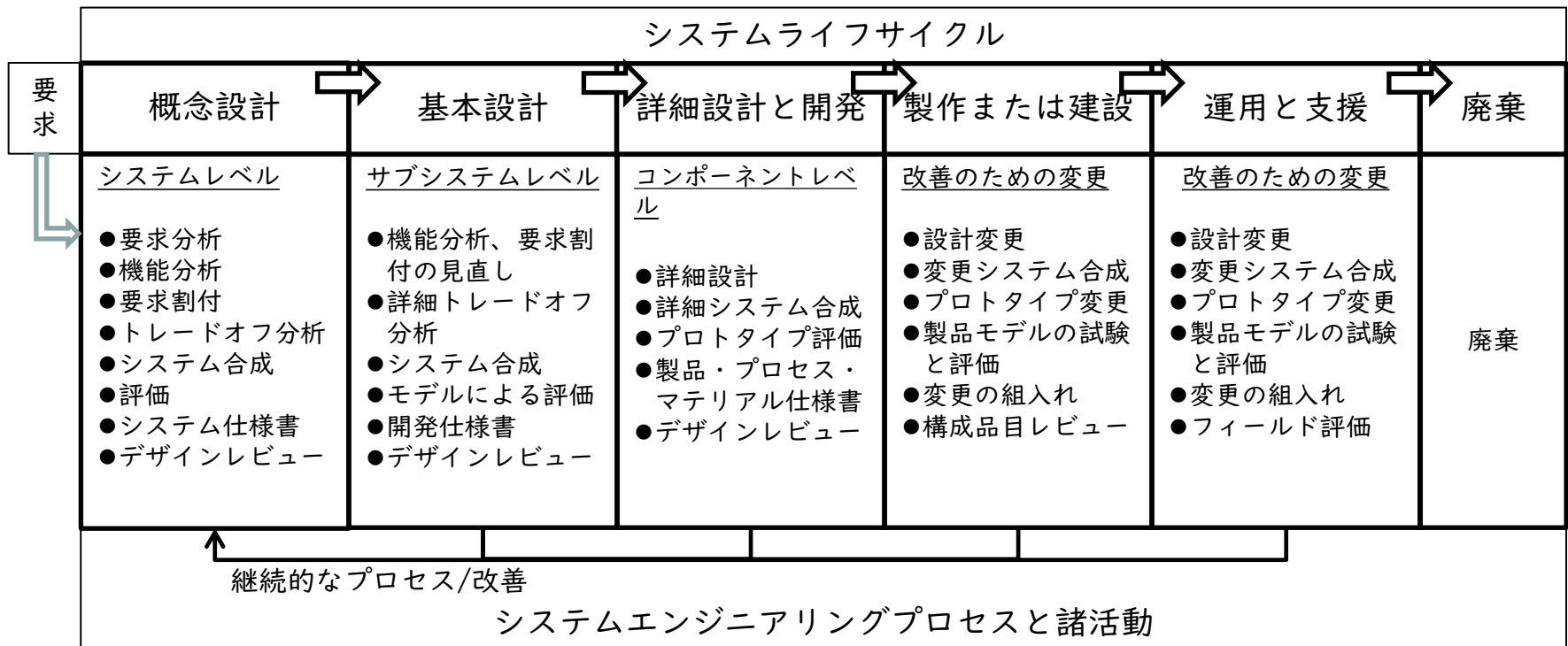




# システムエンジニアリングプロセス と マネジメントの視点

# システムエンジニアリングの一般プロセス

- システムライフサイクル全体に関わりを持つプロセス
- 設計および開発フェーズに重点を置く
- システムのタイプ、サイズ、および複雑さに関係なく、あらゆる分野のシステムの開発に適用可能



# システムエンジニアリングプロセスの重要ポイント

- 問題の定義と顧客の要求を特定する**要求分析が起点**
- 要求分析では、実行可能性分析、システム運用要件、保全と支援要件の決定、**技術的性能基準** (TPMs: Technical Performance Measure) の決定と**TPMsに基づく優先順位付け**などを行い、機能分析に続く
  - ➔ TPMsは、SEプロセスを通じて、設計、評価に影響を与える基準となるもの
    - 自動車为例にすると、サイズ、重量、燃費、保全間隔など

# システムエンジニアリングプロセスの重要ポイント

- システムの設計と開発の初期段階から、生産/建設、運用、およびシステムの保全と支援にかかわる諸活動を認識し、設計と開発に織り込む
- フィードバックループによるシステムの改善
  - ➔ 要求を的確にとらえたシステムを、ライフサイクルにわたり経済的に実現
- システムが最終的に意図したとおりに機能することをライフサイクルの早い段階で確認
  - ✓ プロセスの当初からシステムの試験と評価を検討し、実施
  - ✓ なお概念設計、基本設計の段階では、デジタルモデルとシミュレーションの利用が試験の時間と費用の節約に有効
    - ➔ 近年ではモデルベース開発として普及

# システムエンジニアリングプロセスの実際

- 建築物、プロセスプラント、発電所など、長期にわたり維持管理を要するシステムにおいて、**誰もがあたりまえと考えている**
  - ✓ 現実には、「設計してからやり直す」ことが多数見受けられる
  - ✓ 設計者と運用者が同じ評価基準で行動していない
  - ✓ 運用・保全を考慮した設計が行われない
  - ✓ 改修の繰り返しによる複雑化、ライフサイクルコストの増大、早期の廃棄など発生
- プロセスを見直し、プロセスの組織化を含め、システムライフサイクルを通して適切なプロセスを構築すべき

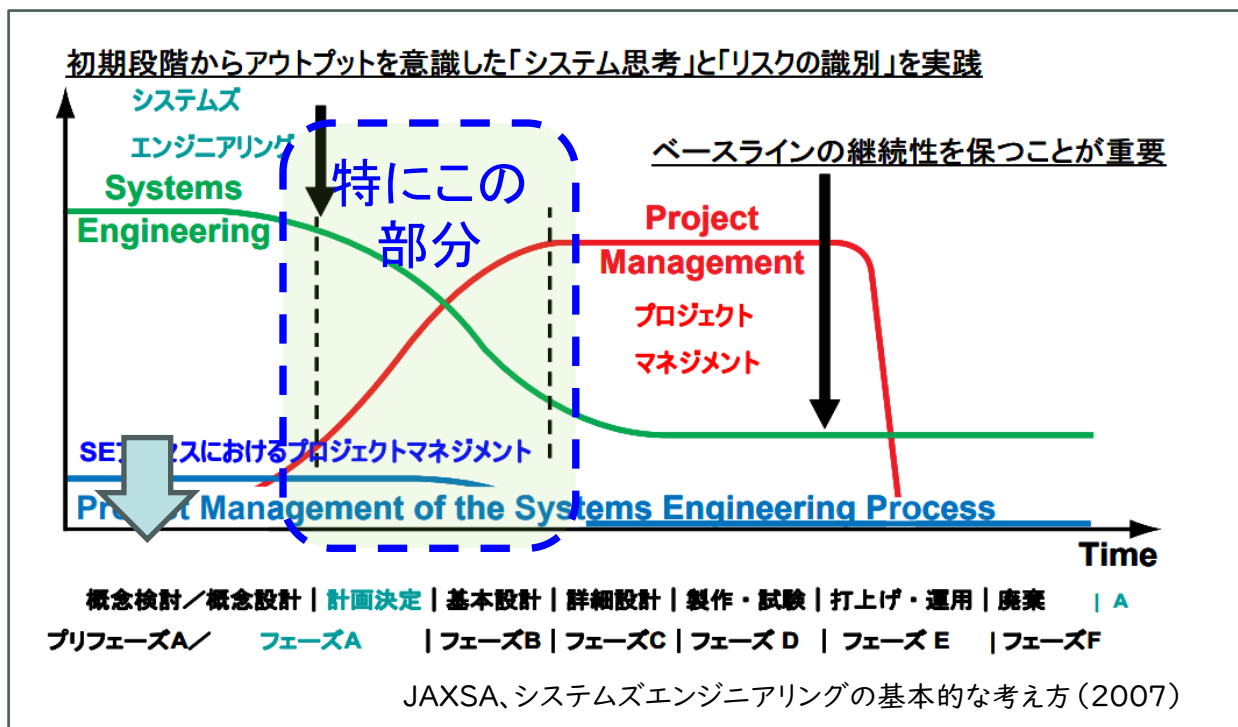
## <プロセスを見直すポイント>

### **デジタル基盤の用意が必要**

- ✓ 全てのプロセスの情報を共有
- ✓ デジタルモデルとシミュレーションにより多くの代替案を検討することで変化に即応

# システムエンジニアリングプロセスとマネジメントの視点

- システム開発はプロジェクトとして遂行  
→ プロセスはプロジェクトマネジメントの対象



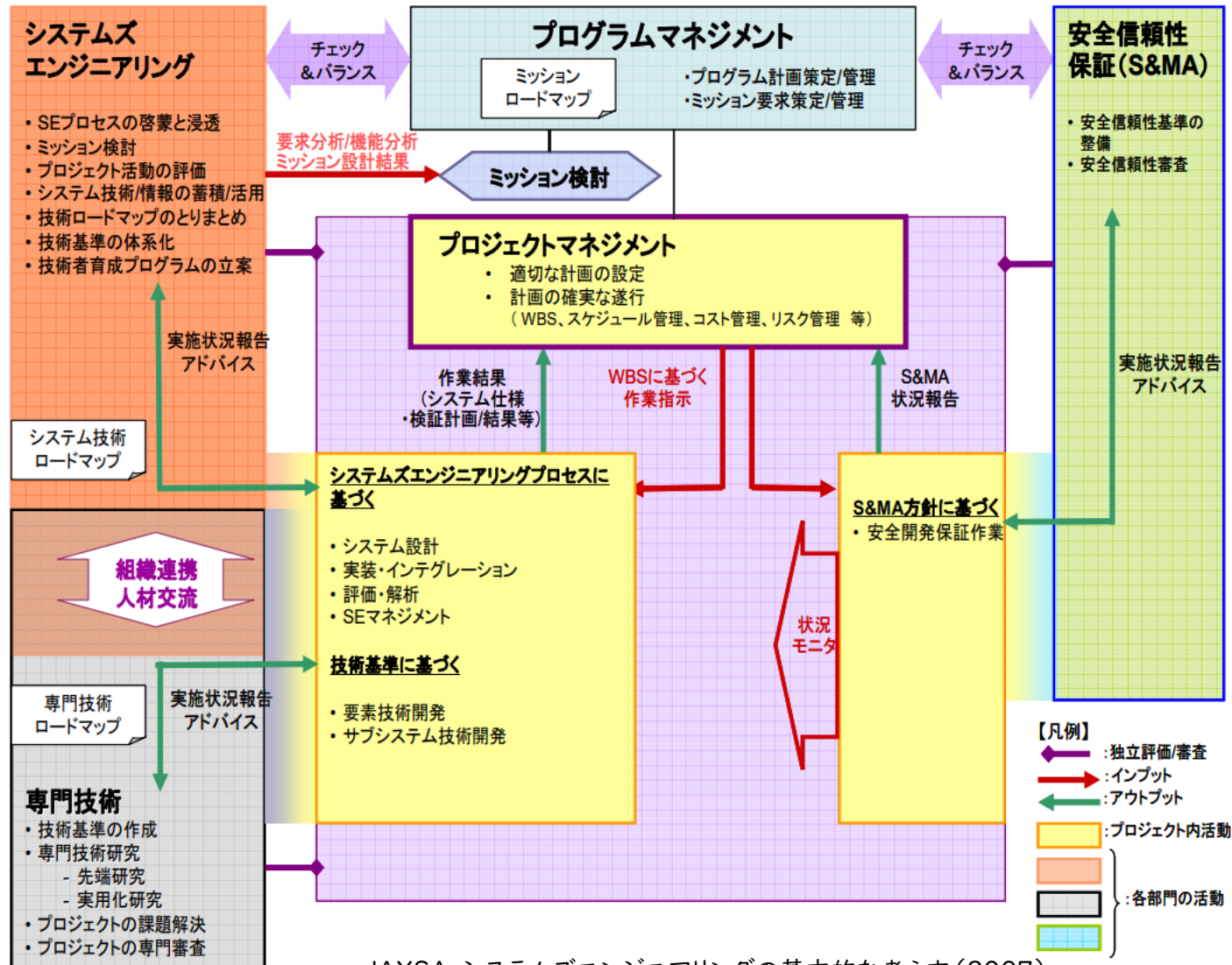
重複作業,あるいは抜け漏れが生じないように,  
対象と組織の実態に合わせて,  
主体となる組織間での調整が必要

# システムエンジニアリングプロセスとマネジメントの 視点


- プロセスのマネジメントとして、PMP (Program Management Plan)、SEMP (System Engineering Management Plan)、TEMP (Test and Evaluation Master Plan)の作成、プロセスのマイルストーンでのレビューを含む
- 適用技術、設計とその評価に関わる事項はシステムエンジニアリングが担い、スケジュール、コスト、調達に関わる事項はプロジェクトマネジメントが担う
- 両者が関わる事項を、プロジェクト計画、リスクマネジメント、データマネジメントとする

# プログラム・プロジェクトを支える4機能の関係

## JAXSA システムズエンジニアリングの基本的な考え方(初版)より







# システムエンジニアリング教育 の 現状と課題

# システムエンジニアリング教育の現状と課題

- 教育現場の関心は薄い
- 学生の関心も低い
  - ✓ 大学側もシステムエンジニアリング教育に力を入れない
- 社会の関心も低い
  - ✓ 就職に有利には働かない
- SEをカリキュラムに入れている学部・学科はある
  - ✓ 内容は、最適化，統計，などシステムエンジニアリングのツール面を取り上げるケースが多い
  - ✓ システム思考，SEプロセスを取り上げるケースは少数
- 要素技術を深めないと研究論文になりにくい
  - ✓ 研究論文を積み上げるために，要素技術に傾斜

# 日本で定番の教科書の目次から読み取れること

## 本来の内容

### 1. システムとシステム工学

- 1.1 システム
- 1.2 システム工学
- 1.3 システム開発におけるシステム工学の役割
- 1.4 コンカレントエンジニアリング
- 1.5 システム工学手用いられる主な手法

### 2. システムの計画と評価

- 2.1 システムの価値
- 2.2 システムの経済性評価
- 2.3 費用・便益分析
- 2.4 システムの総合評価
- 2.5 プロジェクトスケジューリング

### 3. データの統計的解析

- 3.1 統計データの処理
- 3.2 確率分布
- 3.3 確率分布のあてはめ
- 3.4 回帰分析

### 4. モデリングとシミュレーション

- 4.1 システム解析とモデル
- 4.2 生産加工システムのモデリング
- 4.3 システム構造のモデリング
- 4.4 ニューラルネットワークと学習モデル
- 4.5 シミュレーション
- 4.6 乱数の発生

### 5. 最適化手法

- 5.1 最適設計問題の記述
- 5.2 線形計画法
- 5.3 非線形計画法
- 5.4 最適解の探索法 (制約のない場合)
- 5.5 最適解の探索法 (制約のある場合)
- 5.6 整数計画法
- 5.7 動的計画法
- 5.8 遺伝的アルゴリズム

### 6. 信頼性

- 6.1 信頼性の基本量
- 6.2 故障率のパターン
- 6.3 故障時間の確率分布
- 6.4 システムの信頼性解析
- 6.5 保全性
- 6.6 FMEA、FMECA、FTA、ETA
- 6.7 リスクアナリシスと製造物責任



室津義定, 大場史憲, 米澤政昭,  
藤井進, 小木曾望, システム工学  
第2版, 森北出版 (2006)

● 手法中心の内容

● 1, 2章が無いと、ORの教科書  
と大きくは変わらない

# 米国の定番教科書の例

Benjamin S. Blanchard, John E. Blyler,  
System Engineering Management, Wiley; 第5版 (2016)の紹介

1 Introduction to System Engineering

2 The System Engineering Process

3 System Engineering Process

4 Engineering Design Methods and Tools

5 Design Review and Evaluation

6 System Engineering Program Planning

7 Organization for System Engineering

8 System Engineering Evaluation

Appendix A Functional Analysis (Case-Study Example)

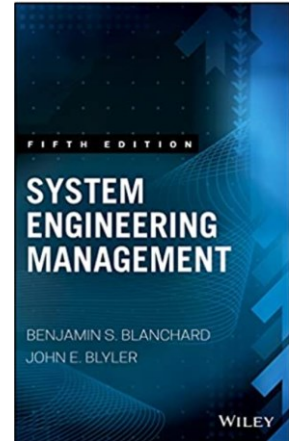
Appendix B Cost Process and Models

Appendix C Selected Case Studies (Nine Examples)

Appendix D Design Review Checklist

Appendix F Selected Bibliography

手法に関する部分



- システムエンジニアリング中心の内容
- 日本の定番教科書の1、2章に関連する内容が約500ページ

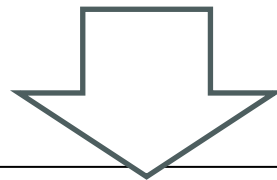
# システムエンジニアリング教育の現状と課題

- システムエンジニアリング教育の普及は、  
世界的にもこれから
- 墨絵的な感性を持つ文化は、システム思考  
となじみにくい (?)
- システム指向を意識した教育が必要
- まずはグローバルな潮流に乗り遅れないよ  
うに、システム思考とシステムエンジニア  
リングへの理解を広める活動を継続すべき



まとめ

## システムエンジニアリングへの 認識不足



- 我が国の要素技術への国際的な評価は高いが、システム製品はガラパゴス化が進む
- 高性能でも海外では売れない状況が多発
- 大規模で複雑なシステム開発・運用での主導権を取れず、要素技術の提供にとどまるケースが増加
- DXの推進では、我が国の成功例をあまり聞かない。

# 日本で何故システムエンジニアリングが普及しない？

## ● 社会では：

✓ 平等を重んじ、階層意識がなく（良いことだが）、墨絵的感性のためメリハリを効かすシステム思考の価値を理解しにくい

→ 欧米と比べて、精神的（伝統的）な基盤がない

✓ 維持管理、ライフサイクル指向への理解が低い



# 日本で何故システムエンジニアリングが普及しない？

## ● 産業界では：

- ✓ 細部へのこだわりが強く、全体を俯瞰しゴール達成に向けた意思決定を軽視しがち
- ✓ 部門が強く、全体目標を忘れがち、あるいは、全体目標が抽象的で部門の行動にまで落ちてこない
- ✓ ボトムアップが強く、トップダウンが苦手（経営者はオペレーションを現場に任せきり（？））
- ✓ 中間管理職がその役割をはたしていない（？）
  - ➔ 高度成長期に活力の源であった現場力が、現在は改革の足かせになっている

本来の  
管理の  
階層と  
役割

トップマネジメント

自社と市場を俯瞰した戦略を立案し、その実行のための組織作りとリソースの割り当てをおこなう

中間管理組織

トップマネジメントの方針に基づき、限られたリソースで現場を上手く動かすためのPDCAを回す

現場組織

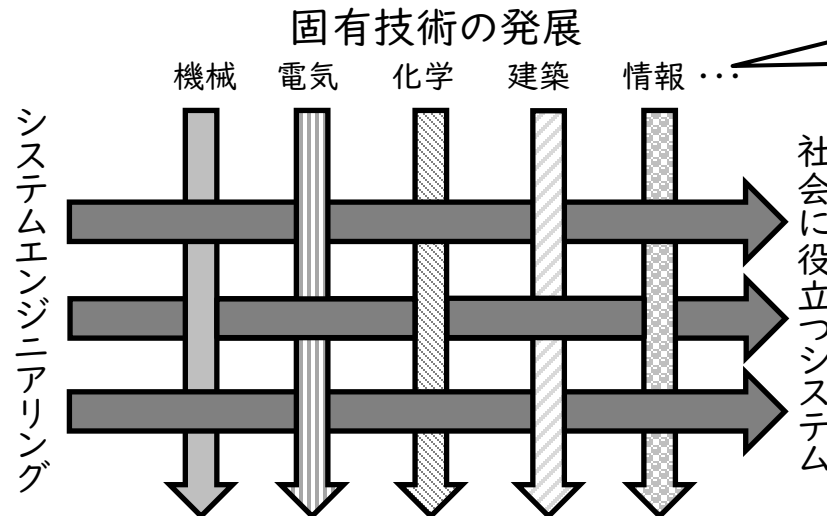
管理組織が立てた計画を着実に実行する

# 日本で何故システムエンジニアリングが普及しない？

## ● 研究・教育界では：

- ✓ 要素技術を深めないと、研究論文にならない（評価されない）
- ✓ 高校生にはシステム思考の価値を理解できないため、教育に後ろ向き
  - ➔ 学生を集められない
  - ➔ 社会の理解が薄いため、システムエンジニアリングを学んでも就職に繋がらない

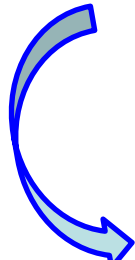
その価値が分かり難い



内容が分かりやすい  
評価しやすい

# まとめ

- 文化的な背景もあり、これと言った有効な方策はなく、解決までに時間が掛かる
- システム思考に基づくシステムエンジニアリングとそのマネジメントの普及は喫緊の課題



墨絵的世界との融合を考えた、新たなシステムエンジニアリングの再構築として、  
情報システム学会が取り組むテーマと考える



おしまい

ご清聴ありがとうございます。