

ホモ・システーマの時代

システム史観の可能性

木村 英紀

システムイノベーションセンター副センター長
東京大学・大阪大学名誉教授

2021/7/21 IEEE Fields Medal 受賞記念

目次

- はじめに
- システム：現代の「デーモン」
- 第三の科学革命
- システム研究の歴史
- システム史観は可能か
- ホモ・システーマの時代
- むすび



エアコン



複合機



家庭用燃料電池
エネファーム



スマホ



システムキッチン



技術のトレンド：一つの機械や装置が数多くの仕事をこなす（機能の統合）

例

- システムキッチン（収納＋調理＋加熱＋洗浄など）
- 複合機（コピー＋印刷＋ファックス＋走査読み取り）などの
- コージェレーション（発電＋初熱）例： エネファーム
- エアコン（クーラー＋ヒーター）
- ワンストップサービス（手続きの集約）
- スマートTV（放送＋インターネット）
- スマホ（電話＋カメラ＋計算機＋マイク＋懐中電灯＋etc）

- 機械や装置の使用範囲が広がる

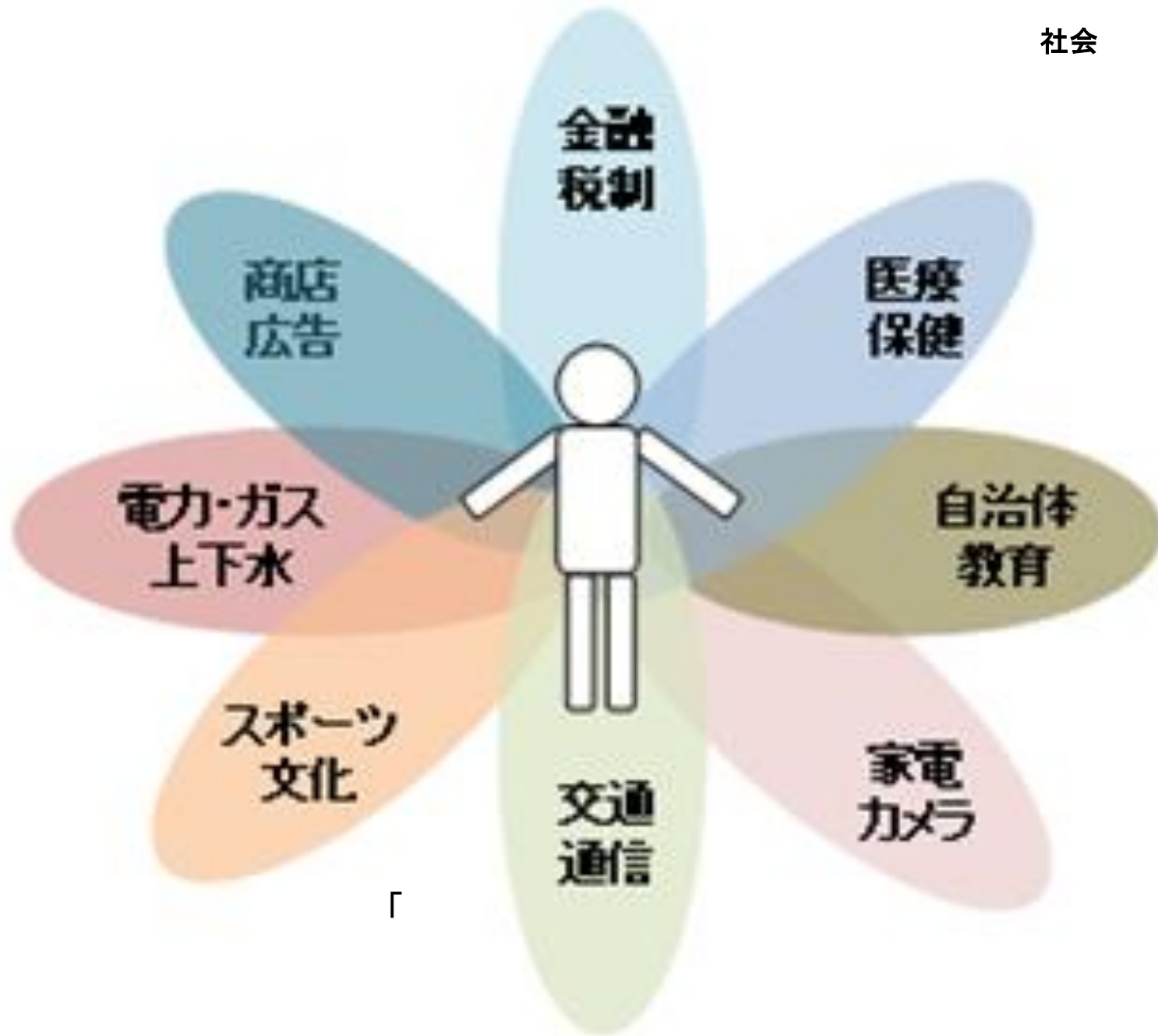
最初は東京圏JRの切符の代用品として登場したスイカカードは、私鉄、地下鉄に拡大され、使用範囲もほぼ全国に広がり、買い物にも使えるようになった。

- 企業の業態が拡大

ガス会社が電力を売り、電気会社がガスを売るようになった。

銀行が株や債券を扱えるようになった

これらは技術としてみれば**システムの統合と拡大**と表現される。



「

私たちはシステムに囲まれて生きています。
私たちが使うシステムの良し悪しが私たちの生活の質を決める。

よいことばかりとは限らない システム障害の例

- 東京証券取引所

2005年11月株価が表示されなくなった

2020年10月 終日取引不能

- ANAのシステム障害

2007年5月 空港での端末が一斉に使えなくなった

2016年3月 予約運行システムが全面的にダウン

欠航63便 遅れ 358便

- みずほ銀行 2002年の発足（3銀行の合同）以来基本勘定系の統合がまだ完成していない。すでに4000億円が投資されたと言われている

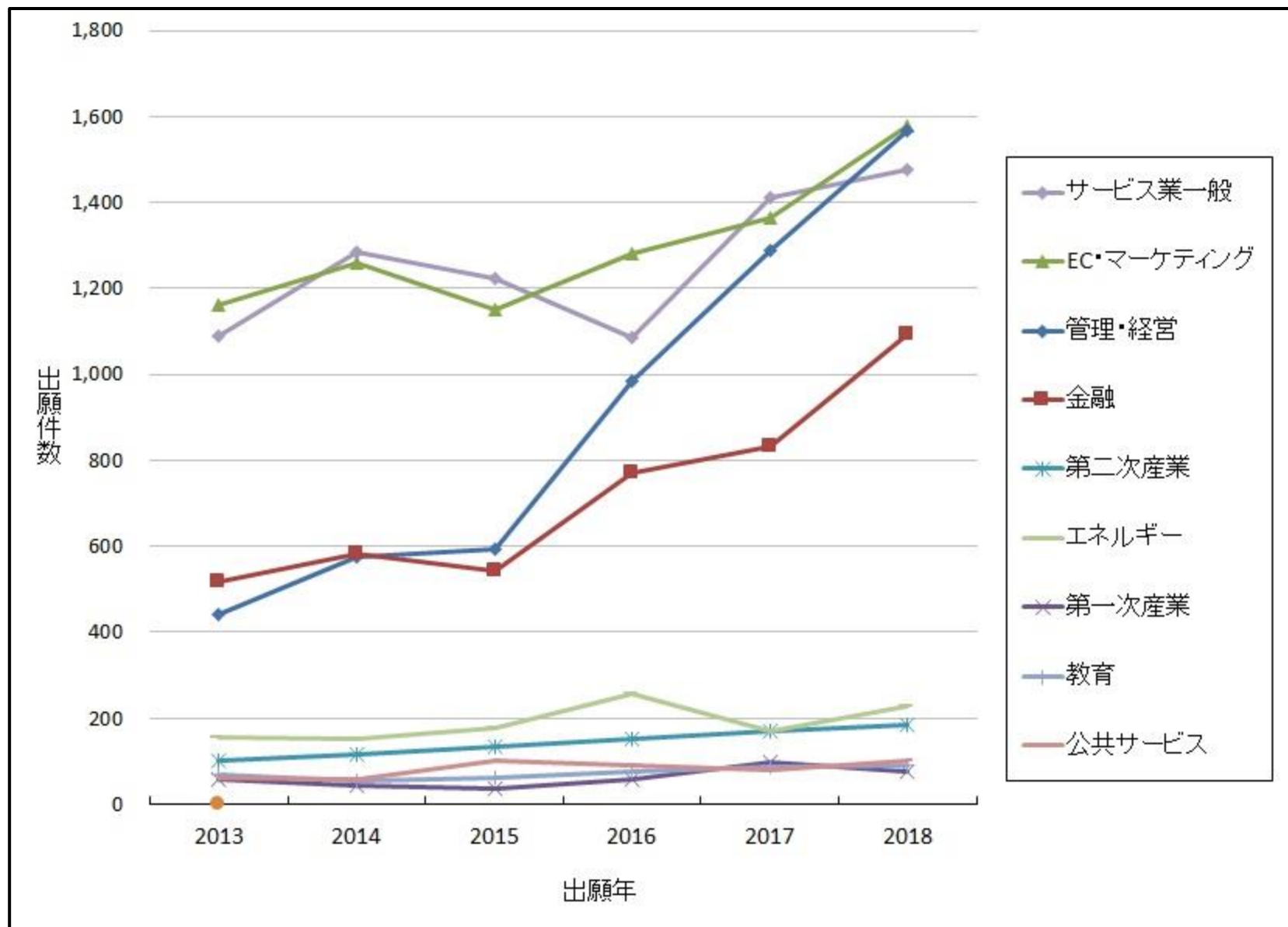
2011年3月 三日間ATMが使えなくなった

- 日経コンピュータ発刊（1981年）以来2017年まで1098件のシステムダウンが掲載、全面ダウンの件数が急増している。

よいシステムとは

- 作られた理念が明快に理解でき、出来ることとできないことの境界がはっきりしている。
- システムの全体構成が理解しやすい。
- 運用しやすく、故障への対処が容易である。
- 拡張可能性（Scalability）がある。
- 環境の変化に応じて進化できる。
- 利害関係者の多くを満足させることが出来る。
- 堅牢で十分な持続可能性がある。
- システム構築、運用のコストが小さい。

特許出願状況の変遷



社会の複雑さ	=	システムの複雑さ
社会の変動	=	システムの変動
ビジネスモデル	=	システムの構想
不確かな未来	=	システムの変化
政策の実現	=	システムの構築

システムは現代のデーモン

デーモンとは

一般に鬼神，守護神，悪魔などを意味し，本来は超自然的・霊的存在者を表すギリシア語ダイモン **daimōn** に由来する語。ホメロスではほとんど〈神〉または〈神の力〉の同義語として扱われ，あらゆるできごとを引き起こす真の原因と考えられている。

目次

- はじめに
- システムは現代のデーモン
- 第三次科学革命
- システム研究の歴史
- システム史観は可能か
- ホモ・システーマの提唱
- むすび

第三次科学革命

自然科学ではない人工物の科学が誕生 システム科学技術の基礎となる

- 1931 ブッシュの微分解析機
- 1932 ブリュンによる回路理論の数学化
- 1932 ハイゼンのサーボ機構の理論
- 1936 チューリングの機械計算のモデル
- 1939 **オペレーションズ・リサーチの実施**
- 1944 ノイマンのゲーム理論
- 1945 ボードのフィードバックの理論
- 1946 最初の汎用デジタル計算機ENIAC
- 1948 シャノンの通信理論
- 1948 ウィーナーのサイバネティックス
- 1949 最初のプログラム内蔵式計算機EDSAC

科学・産業革命の歴史

- 第一次科学革命（17C後半） 近代科学の誕生
- 第一次産業革命（18C中葉） 道具から機械へ
科学とはほぼ無関係
- 第二次科学革命（19C初頭） 科学と技術の結婚（エコールポリテクニク）
技術は科学に基礎をもつこと
- 第二次産業革命（19C末） 技術による物質文明の開花
- 第三次科学革命（20C前半）
技術が生み出した自然科学でない科学の誕生（OR、品質管理、制御、予測など）
- 第三次産業革命（20C後半） 情報技術
オートメーション、計算機、メカトロニクス、通信、計測制御、など
- 第四次産業革命（21C） ？

第三次科学革命の意義

- 自然科学以外の「科学」（人工物の科学）が存在することを鮮明に示した。
- 「応用数学」を力学・天文学・統計学の世界から大きく解き放った。
- システムの科学への地ならしを提供した。

木村、「第三の科学革命 I II」 「科学」2006年1月号、
80－84， 2月号 202－206 岩波書店

目次

- はじめに
- システム：現代のデーモン
- 第三次科学革命
- システム研究の歴史
- システム史観は可能か
- ホモ・システーマの時代
- むすび

要素還元論への反乱とシステムへの関心の増大

- 量子力学→素粒子論の大成功は「要素還元論」の成功でもあった。
要素の性質を極めればすべてわかる。
要素に分解すれば世界は単純になる。
- しかしその考え方になじまない分野があった。生物学と心理学
 - ◎ 生物は多くの臓器や組織が生存のために一体化して協調しある。その協調のメカニズムはそれぞれの「部品」をいくら精密に調べても理解できない。生物有機体論
 - ◎ 様々な信号に対する応答を調べても、同化というメカニズムは理解できない。ゲシュタルト心理学

一般システム論（ルードビッヒ・ベルトランフイー） 1947

- 「要素還元論」の対立軸として各分野で大きな反響を生む。



**1950年のアメリカ精神医学会
での一般システム論に関する講演会
は、2000人以上の聴衆で超満員
であったという。**

サイバネティックスの提唱

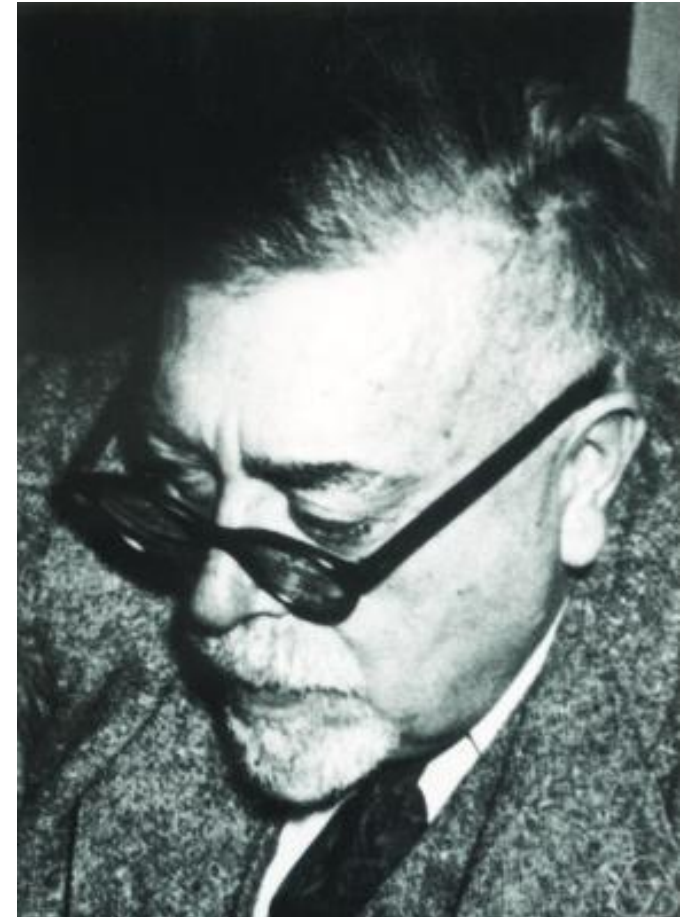
1 9 4 8

- ・ノーバート・ウィーナー

通信と制御を生物・社会・機械の共通原理ととらえ、3つの世界にまたがる分野横断的な研究分野の確立を目指した。

システムへの新しい視点を導入した。

日本国有鉄道（JRの前身）は積極的にサイバネティックスを導入。
新幹線成功の原動力となった



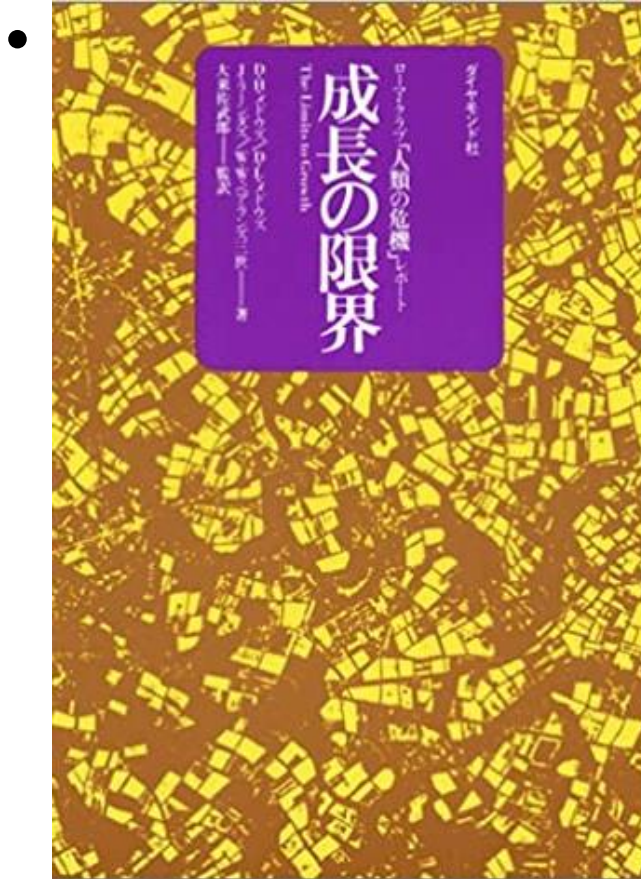
国際応用システム解析研究所 (IIASA)の 設立 1972

ニクソンとブレジネフの
トップ会談で東西共通の
課題を共同で解析解決
するための研究所として
設立
食料・人口・環境汚染・
貧困・公衆衛生などがテー
マ



成長の限界

1972



ローマクラブの報告

「システムダイナミックス」を用いた世界シミュレーション

豊富なデータを駆使して地球環境を予測

このままでは地球は**持続可能でない**ことを警告

一般システム論からシステム科学へ

社会科学への展開

- 社会学（ニコラス・ルーマン）
- 歴史学（イマニエル・ウォーラストライン）
- 国際関係論（エリース・ボールディング）
- 経済学（ケネス・ホールディング、ハーバード・サイモン）

サンタフェ研究所（複雑適応系の研究）

1986

- 多くの著名な研究者が参集
ゲルマン（物理学）、
アロー（経済学）、
アンダーソン（物理学）
ラングトン（生物学） etc.

カオス、人工生命、遺伝的アルゴリズムなど多くの成果を挙げる。

しかし、彼らの興味は「**簡単な記述から生まれる複雑さ**」にあり、現代社会で求められている「**複雑なシステムを解析制御する簡単な手法**」とは真逆である。

MITの最近の動き

- MITは第二次大戦後のシステム研究のメッカ

Engineering Systems Division

最近新しい研究教育組織を創立 2015

Institute of Data, Systems and Society

- 兼任も含め100人以上のスタッフ

制御工学、計算機科学、経済学、経営学、生物学など
多彩な研究分野の研究者を動員

システムの研究はいかにあるべきか？

- * 複雑さを苦にせず、むしろ歓迎する余裕をもつべき
- * 「文」と「理」の境界を立ちはだかる壁ではなく
肥沃な可能性をもつ未開地とみなすべき
- * 広い視野と全体に目配りを忘れない最適化を
目指す。システム思考
- * 先端技術と社会の接点は常にシステムであることを
認識すべき

互いに密接に関連し、多くの知を共有している分野がある。**現代システム科学**

- 最適化
- モデリング
- 学習
- ネットワーク
- 予測・推定
- 制御

木村 「現代システム科学概論」

東大出版会 2021年6月30日発売



システム思考を支える知の基盤

2

社会や技術が複雑化するにつれ実世界におけるシステムはますます進化している.さまざまな課題が提起されている現在,どのように解決へと導くか? システムの意味や歴史の紹介,またシステムの構築・運用・進化に欠かせない6つの分野の視点から概説.

目次

- はじめに
- システム：現代のデーモン
- 第三次科学革命
- システム研究の歴史
- システム史観の可能性
- ホモ・システーマの時代
- むすび

システムの進化は、文明、社会、技術の進化と並行してきた。進化の評価軸

- **複雑さの度合い**

要素の数、要素間の結びつきの密度、ステークホルダーの

多様性と数、果たす機能の多さ

- **システムを評価する三つの要因 (MIT IDSS)**

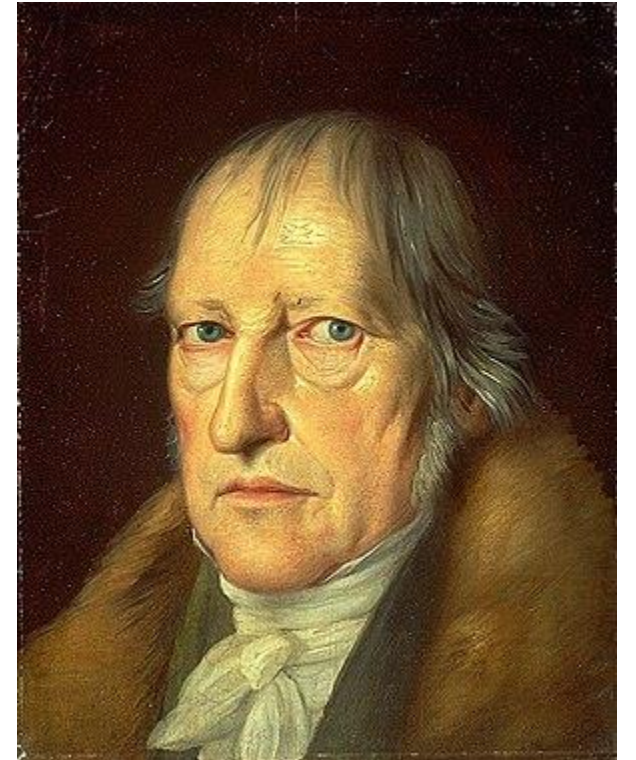
技術の先進性、人間的価値の高さ、経済合理性

ヘーゲル 「精神現象学」

真なるものはシステムとしてのみ現実的である」

Das Wahre nur als System wirklich.

ドイツ観念論の代表的哲学者の一人
(1770～1831)



史観のいろいろ

〇〇の歴史ではなく歴史全体をある視点から解釈する

- 唯物史観 人間の生きるための生産活動の視点から歴史を捉える
- 文明の生態史観 梅棹忠夫

世界を第一地域と第二地域に分類し、その相互作用の発展として歴史を捉える

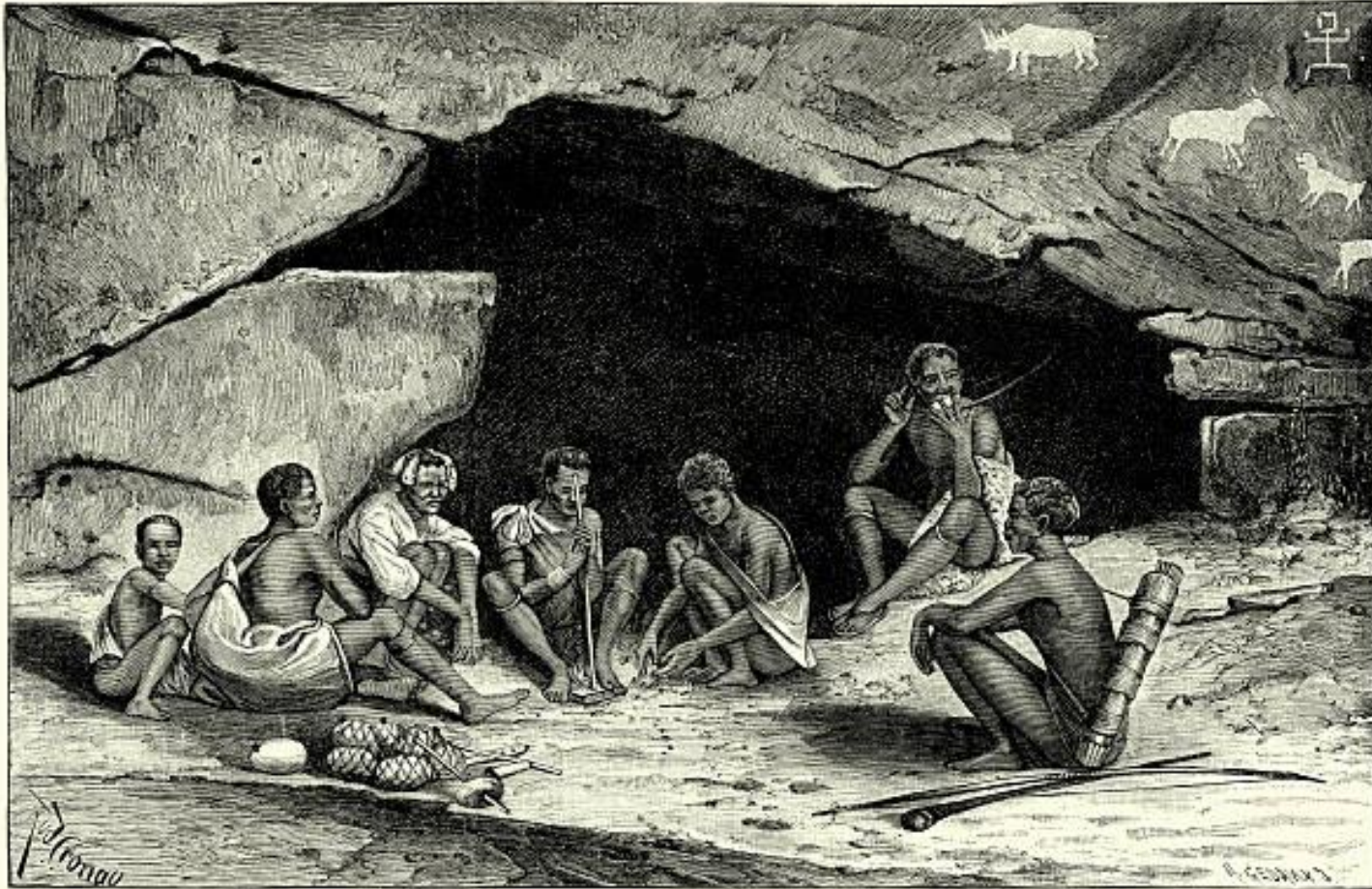
- システム史観 Thomas P. Hughes

Network of Power ,Johns Hopkins Univ. Press 1985

世界システム 16, 17世紀に登場 (ウォーラスティン)

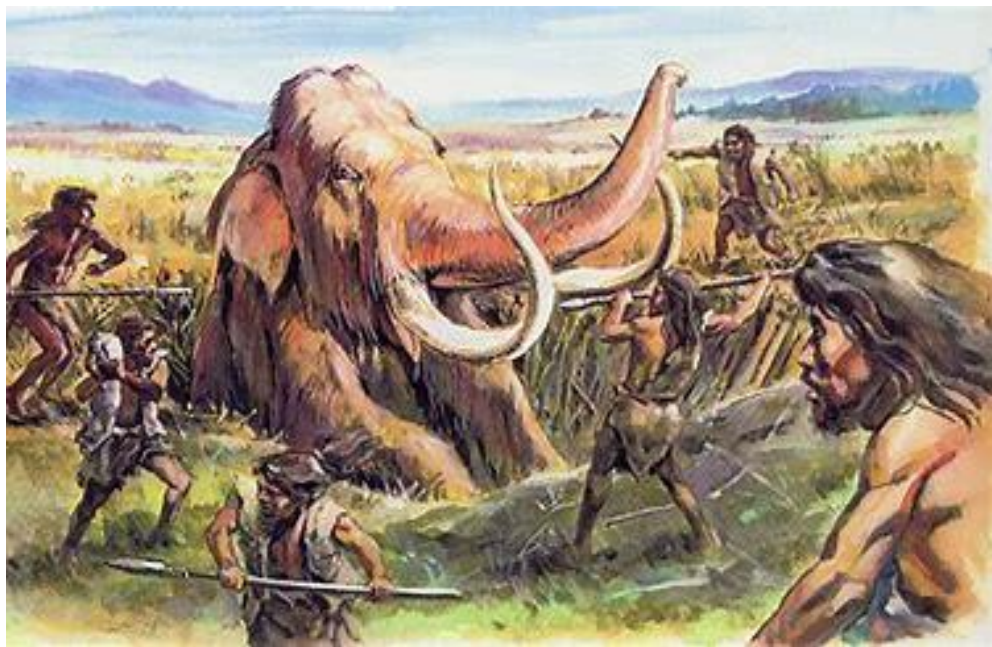
技術史、経済史、文明史を統一

システムの始まり 家族



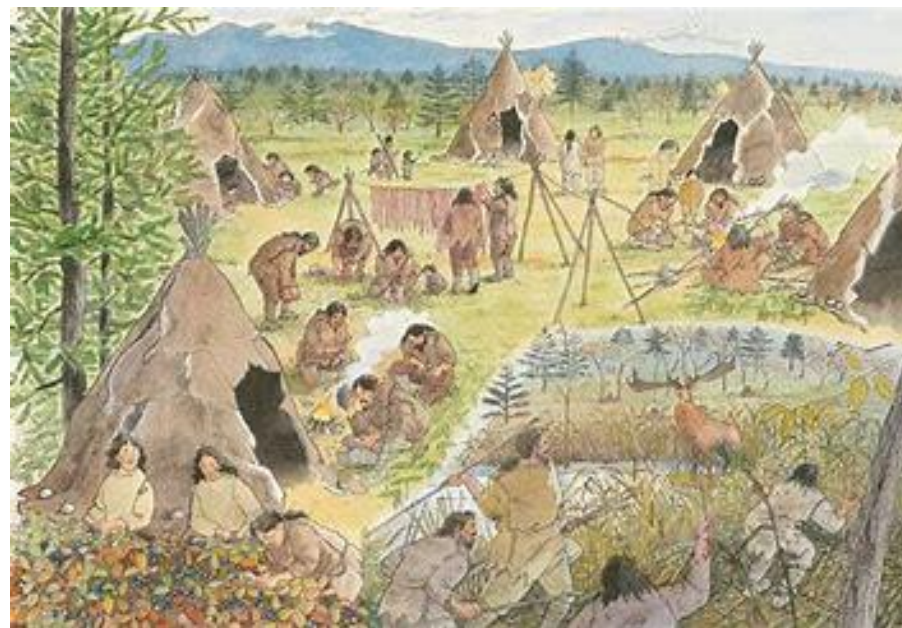
e. Buschmänner vor ihrer Höhlenwohnung.

役割分担と段取り



狩猟

組織—システム



農耕

巨大なシステムがあった



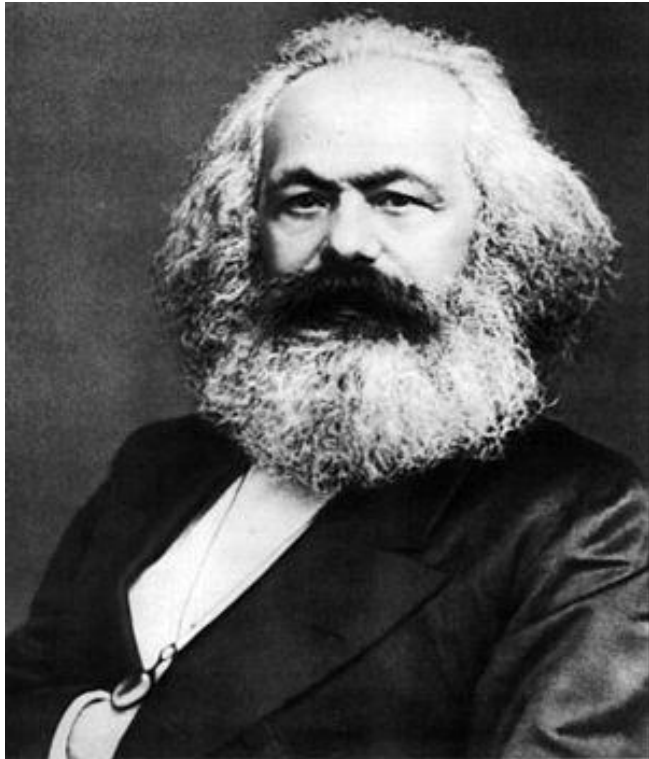
ピラミッド
巨大な人間のシステムの存在

カソリック協会
巨大な人間の組織



人間のシステムから機械のシステムへ

カール・マルクス



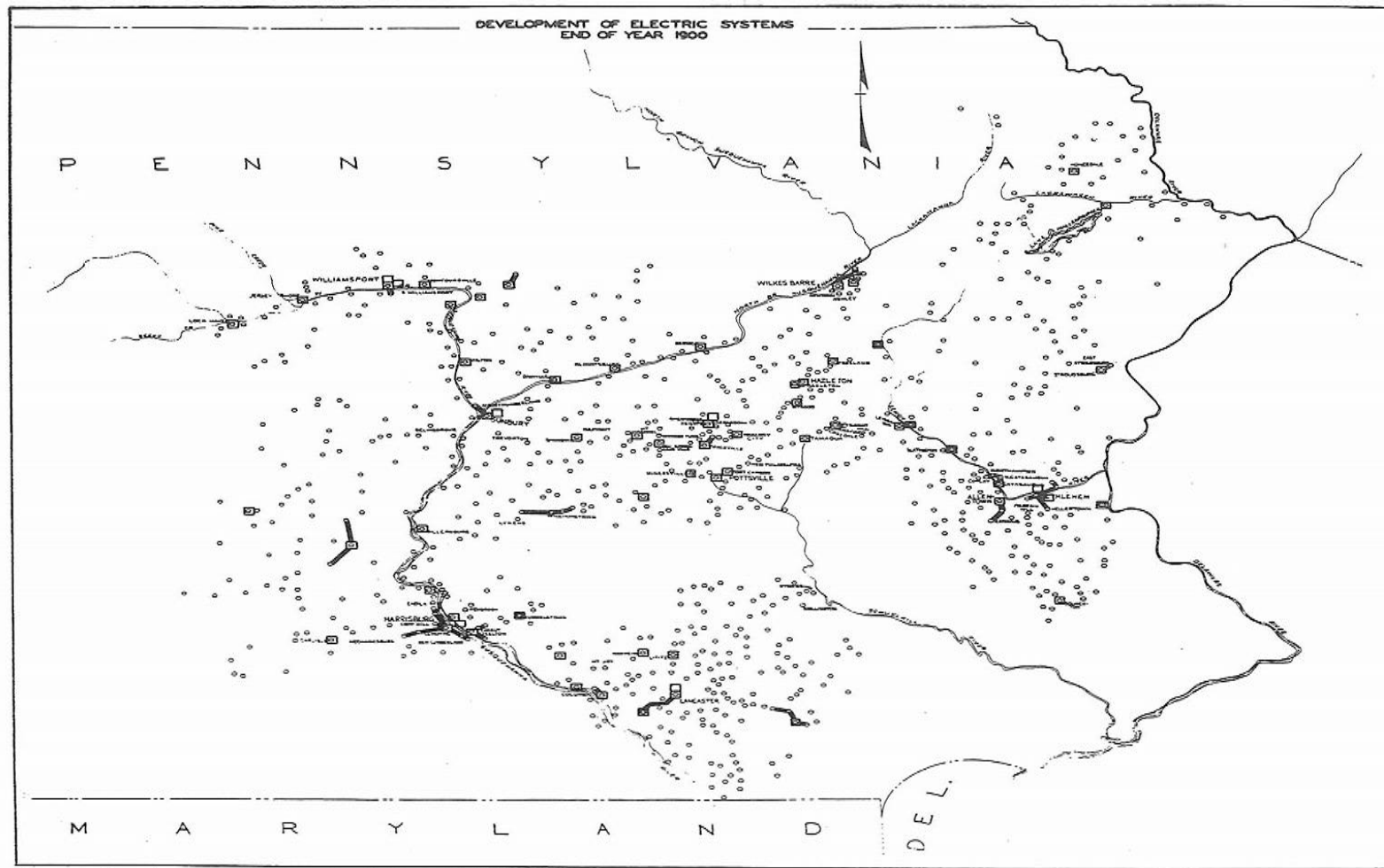
産業革命の立役者であった紡織機は、「道具器」「原動機」「伝達器」からなるシステムである。マルクス

マルクスは技術の本質を哲学的に考察した最初の思想家
機械はシステムであることを看破し、
将来システム化が進みやがて自動化に至ることを予言（資本論）

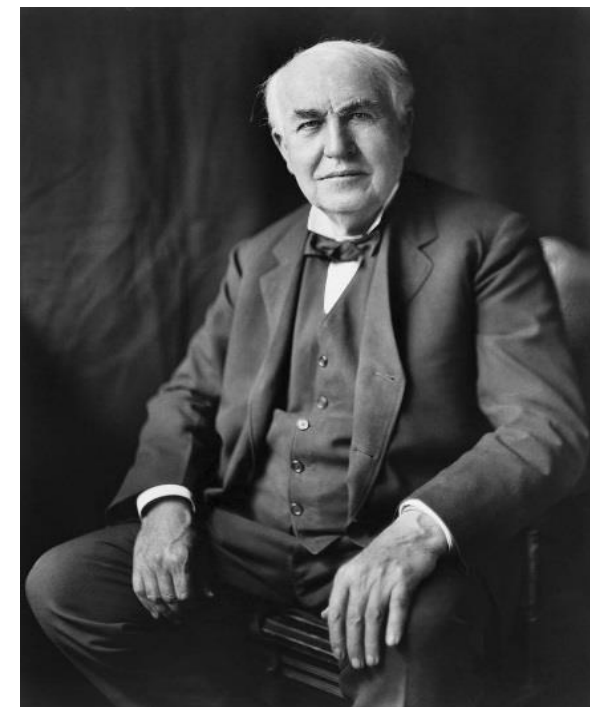
20C初頭のシステム化の波

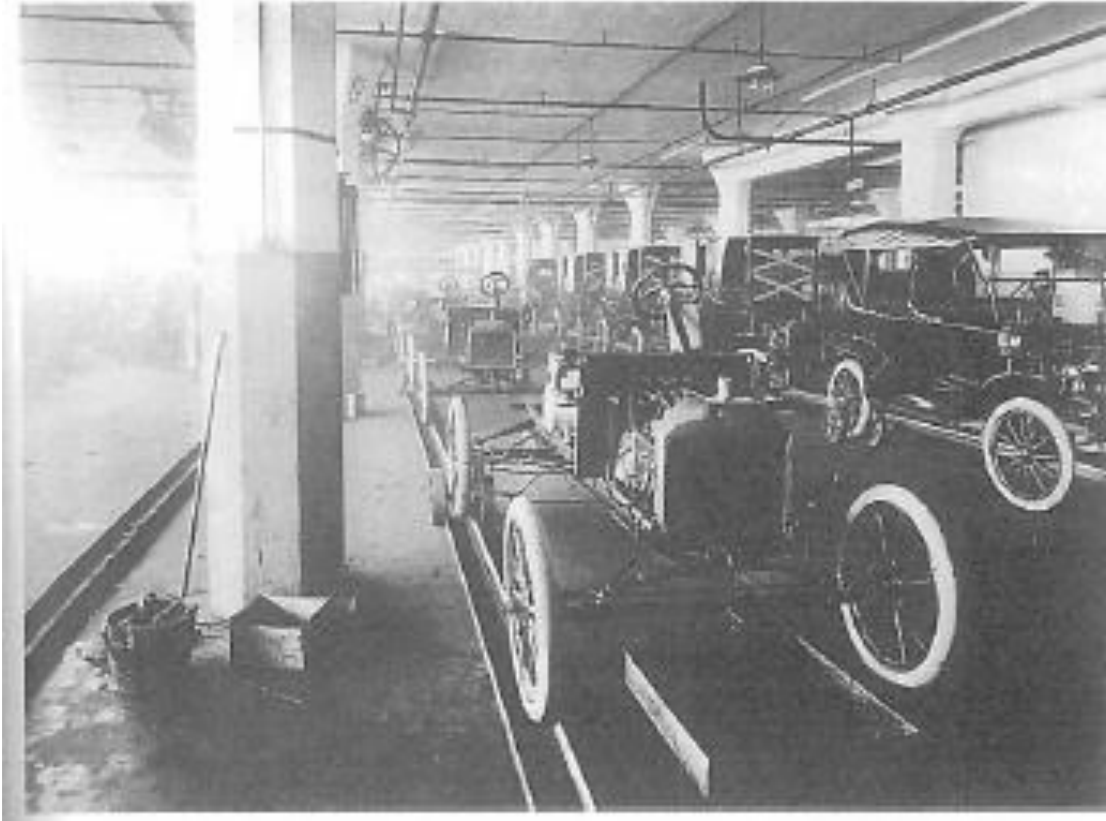
- インフラの急速な拡大
電話、交通、送配電網 etc.
すべて「システム構築と運用」がキーテクノロジー
”エジソンは最初のシステム工学者“ (Hugh)
- 大量生産・大量消費の時代の到来
フォードの流れ作業ラインの登場
市場調査、品質管理の課題が発生

1910年、アメリカの電力供給網

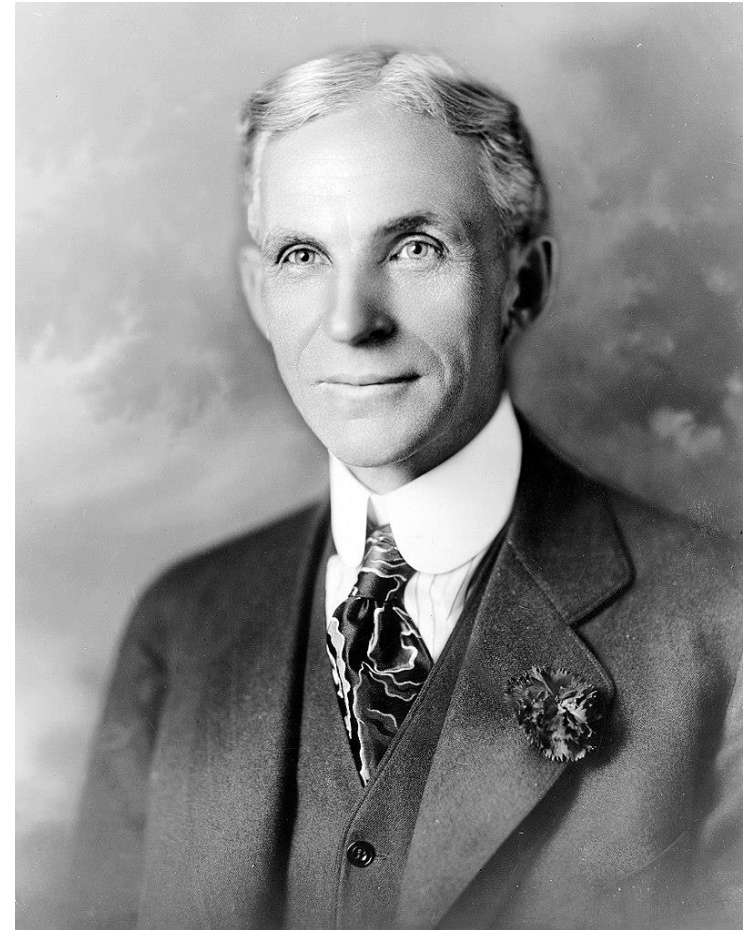


トマス・エジソン





1913年 完全な流れ作業
工場の操業開始



ヘンリー・フォード

フォードの組み立てラインのもたらした もの

- T型フォードの価格は1/3に下落、生産台数は45倍に増大
- デトロイトジャーナルの記事の見出し（1913年4月）
“システム・システム・システム”
- ただし、ラインが実現するまでには多くの要素技術の開発と車両アーキテクチャの改善改良が必要であった。
- 品質のバラつき  S Q C の必要性
- T型フォードは突然売れ行き不振になる  市場調査の必要性

「システム史」の三段階

- 人間主役のシステム
 - • • 原始・古代・中世
- 機械主役のシステム
 - • • 近世・現代
- 人間と機械が主役のシステム
 - • • 近未来

目次

- はじめに
- システム：現代のデーモン
- 第三次科学革命
- システム研究の歴史
- システム史観
- ホモ・システーマ
- むすび

システムの語源 (Wikipedia より引用)

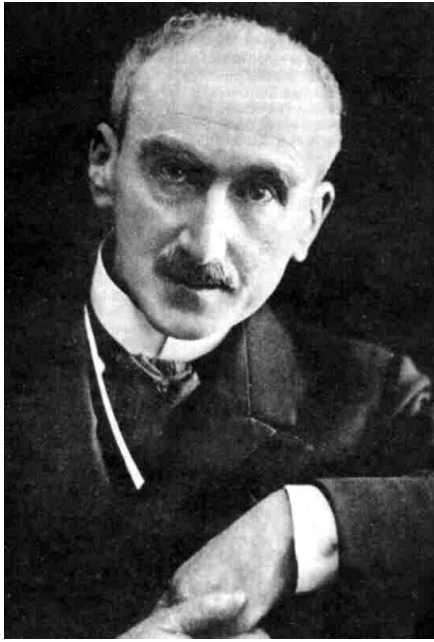
「組み立てた物」を意味する古代ギリシャ語σύστημα（シュステーマ）を語源にもつ。

これは「共に」を意味する σύν（スン）と、「立てる」を意味する ἵσθημα（ヒステーマ）を組み合わせた名詞である。

システム自体は見ることも触ることもできない抽象概念である。

しかし、身の回りの社会、技術、経済の問題に深く踏み込むと必ずシステムがデーモンとして浮かび上がってくる。

現代人は、システムに囲まれ、システムを通じて他者と結びつき、システムに立ち向かいながら生きていかなければならない「システム人」である



ホモ・システーマ
共に立てる人
システム人

ヨハン・ホイジンガー

アンリ・ベルグソン

ホモ・ファーベル
作る人

ホモ・ルーデンス
遊ぶ人

第二次大戦後のシステムイノベーション

- イギリスのレーダ防空システム
- アメリカの防空通信ネットワークSAGE
- 新幹線の運行システムCOMTRAC、切符予約システムMARS
- 日本の年産1千万トンの鉄鋼生産管理システム
- アポロ計画のマネジメントシステム
- GPS
- インターネット
- GAFA
- Etc.

目次

- はじめに
- システム：現代のデーモン
- 第三次科学革命
- システム研究の歴史をたどる
- システム史観
- ホモ・システーマの時代
- むすび

日本の問題

敗戦の原因のひとつは指導部組織のシステムの未熟さにある。
システム力があれば物量の差をある程度補えたはずである。

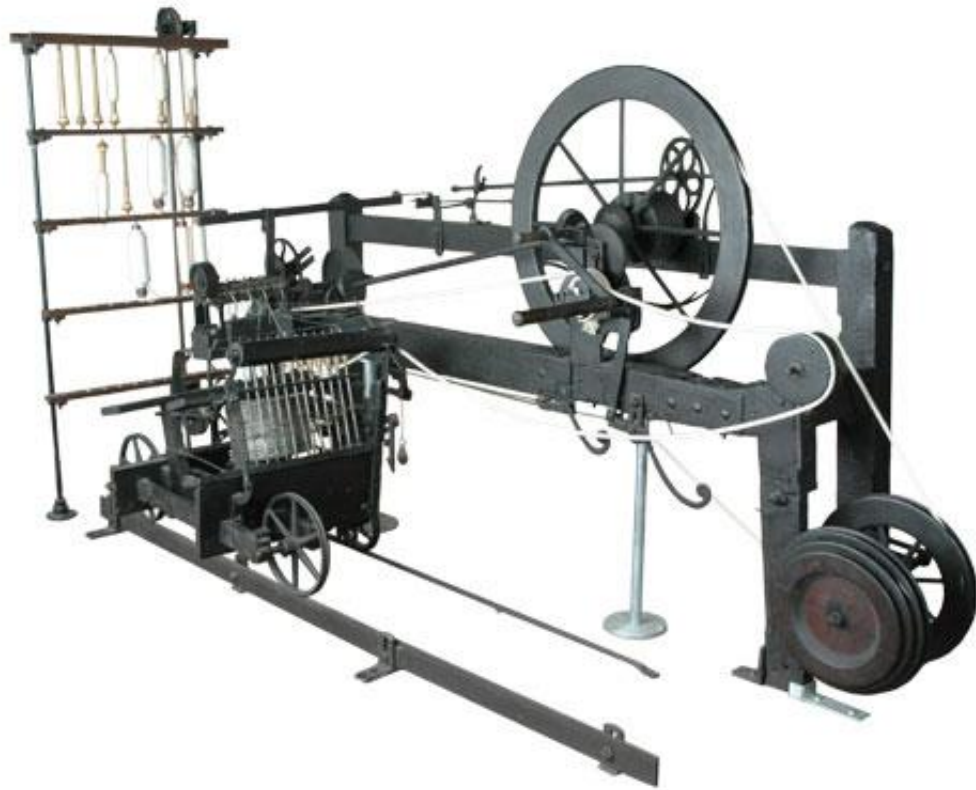
- 情報を戦略策定に結びつける努力なし
- 直接効果のみを考慮した兵器開発
- システム的に軍事力を運用することなし
- 陸海軍共同で兵器開発した事例なし
- 兵器の標準化が遅れ、多種乱造
- 縦割りの兵力運用と過度の部分最適化
- 兵士と兵器の融合を全く考慮せず
- 奇襲先制攻撃の繰り返し

システムを作る力は、国土、天然資源、教育と並ぶ国力の一つではないか？

シンガポールは世界に冠たるシステム国である。

- 空港、港は世界有数のロジスティックハブである。特に港湾のコンテナ処理は件数、運用効率ともに世界一。
- 外国で活動するＩＴ企業の本拠地である。
- 多くの標準の発祥地

産業革命 Industrial Revolution



勤勉革命 Industrious Revolution



「勤勉革命」

速水融、川勝平太

江戸時代の日本で起こった。

家畜から人力へのエネルギー源の転換

道具の技術革新と農業生産性の増大

労働尊重のエートスが普遍化

プロテスタントの労働神聖化は経営層のみ

- 学制頒布（1872）から1年間で小学校が全国で12588校が建てられ、高価な学費にもかかわらず就学率は50%を超えた。
- 豊富な熟練工の存在は戦前の日本の産業の大きな強みであった。富国強兵の基礎
- その文化は「現場力の強さ」として現在にも受け継がれている。
- 規格化、機械化、システム化などの未成熟をもたらした。
- 精神主義と目に見える成果のみに注力する伝統を作り上げた。

人間と機械が共に主役となるシステムの
イノベーションを目指して

ご清聴ありがとうございました