



項目をクリックすることで当該記事に進みます

論説

「運ぶ」を最適化する ～現場での課題解決事例を中心に～

株式会社構造計画研究所

オペレーションズ・リサーチ部 部長 矢野夏子氏

目次

I センター情報

- ① SICシンポジウム2026「SCM とロジスティクスの進化の方向」(2026. 10. 22)開催案内
- ② SIC第3期システム科学概論連続講座「システム科学のための情報と数理」
(第5回(10月16日)、第6回(11月20日)の講義単位受講者を募集中)
- ③ SIC第3期システム科学概論連続講座「システム科学のための情報と数理」
第4回「関係性の数理科学(圏論入門:システムは圏論でできている)」(2026. 9. 11)開催報告

II 会員活動

- ① 2026年度第8回SICフォーラム開催案内(会員限定)
【日時】 2026年10月29日(木) 10:00～11:15 (リモート開催)
【タイトル】 「AI時代のDX 戦略」
【講師】 三谷慶一郎氏 独立行政法人情報処理推進機構(IPA) 理事・上席執行役員
- ② 2026年度第6回SICフォーラム(2026. 9. 3)開催報告
【タイトル】 「人材育成 ～グローバルビジネスに打ち勝つために～」
【講師】 新谷 勝利氏 一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC) 監事
- ③ 2026年度第9回実行委員会(2026. 9. 15)開催報告

III 会員企業一覧

はじめに

現在DXを駆使したサプライチェーン・ロジスティクス全体の高度化により、製造業や物流業にとって、将来にわたって物流の持続可能性を確保するために物流のポテンシャルを最大限に引き出すことが求められている。

物を「運ぶ」ことに注目すると、輸送手段も船舶、航空機、貨物列車、トラックとさまざまであるが、共通することは制限のある空間にどのように運ぶ物を積み付ければ最も効率が良いか、という一つの課題が浮き彫りにされる。いわゆる「積み付け(バンニング)の最適化」である。本稿では、筆者の部門で顧客の現場からの要求で実施した「積み付けの最適化問題」の解決事例を中心に経験知を解説する。

1. 「最適化」とは

「最適化」という言葉は、一般的な会話でも「状況を良くする」、「効率化する」といった意味合いで広く用いられる。しかし本稿では、オペレーションズ・リサーチ(OR)の領域で定義される学術・技術用語としての「最適化」として用いたい。OR とは、複雑に絡み合う業務オペレーションを、科学的・数学的なアプローチによって効率的かつ合理的に再現・検証する技術のことである。企業や社会における重要な意思決定から、日々の現場判断に至るまで、人間の「決める力」を科学的にサポートする役割を果たす。本稿で焦点を当てる「運ぶ」という業務は、サプライチェーンのあらゆるフェーズに存在し、古くから OR の代表的な最適化問題として研究されてきた。近年では、働き方改革関連法案の施行(いわゆる2024年問題)をはじめとする法改正や労働力不足の影響を受け、従来の業務オペレーションそのものを抜本的に見直さざるを得ない複雑な課題が急増している。こうした背景から、OR 技術を活用した課題解決の重要性はかつてないほど高まっている。そこで本稿では、OR 技術を用いて挑んできた現場の課題解決事例を紹介するとともに、OR 技術の有効性、そしてそれを現場に定着させるための適用上の工夫について述べる。

2. 事例1: 航空貨物の積み付け最適化

2.1 航空貨物における「積み付け」の特殊性と4つの課題

物流業界における「積み付け」とは、単に荷物をトラックやコンテナに詰め込む作業ではない。3次元空間に対し、多種多様な形状・重量・容積・危険度などの性質を持つ貨物を、安全かつ最高の効率(積載率)で配置する高度な計画オペレーションである。特に航空貨物の輸送においては、航空機の安全運航に直結する重量・重心バランスの厳格な維持や、使用するULD(Unit Load Device: 航空貨物用コンテナやパレット)の特殊形状(下部や上部が傾斜した特殊断面)への適合が求められる。これらは安全面・効率面双方において極めて複雑な制約条件を伴うため、従来は長年の経験を積んだベテラン作業員の「暗黙知(勘と経験)」に深く依存していた。

数学的に見れば、この「積み付け」は膨大な組み合わせの中から最適な配置を探す「3次元パッキング問題」と呼ばれるNP 困難な超高度最適化問題である。日本貨物航空株式会社(NCA)殿との共同プロジェクトとして開始した当時、同社の現場では以下の4つの切実な課題があった。

- ① 作業負荷の増大: 複雑な制限のもとで手作業でプランを組み立てる負荷が極めて高い。
- ② 機会損失の発生: 顧客(荷主・フォワーダー)からのスペース問合せに対し、積み付け可否や回答を出すまでに20～30分を要し、営業上のレスポンス速度に限界があった。
- ③ 評価の属人性: 作成された積み付けプランが本当に最善なのか、客観的に評価・検証する基準が不十分であった。
- ④ 人材教育の長期化: 熟練者のノウハウが言語化・数値化されておらず、新人や若手への技術継承に長い年月を要していた。

これら「人間の経験に依存した現場」の課題に対し、筆者らはオペレーションズ・リサーチ(OR)の技術を駆使し、ベテランの「暗黙知」を「形式知」へと昇華させるシステム構築に挑んだ。

2.2 アルゴリズムの進化

プロジェクト着手当時(2000年代初頭)、学术界や産業界におけるパッキング問題の研究は、プリント基板のモジュール配置(VLSI 設計)や鉄鋼・紙パルプ等の資材切り出しといった「2次元パッキング問題」が主流であった。実用レベルで航空貨物の複雑な3次元空間と断面形状に対応できる数理アルゴリズムはほとんど存在しなかった。

そこで筆者らは、2次元問題で実績のあった「BL 法(Bottom-Left Method)」に着目し、これを独自に3次元空間へと拡張した「BLD アルゴリズム(Bottom-Left-Depth Method)」を新たに開発・構築した。

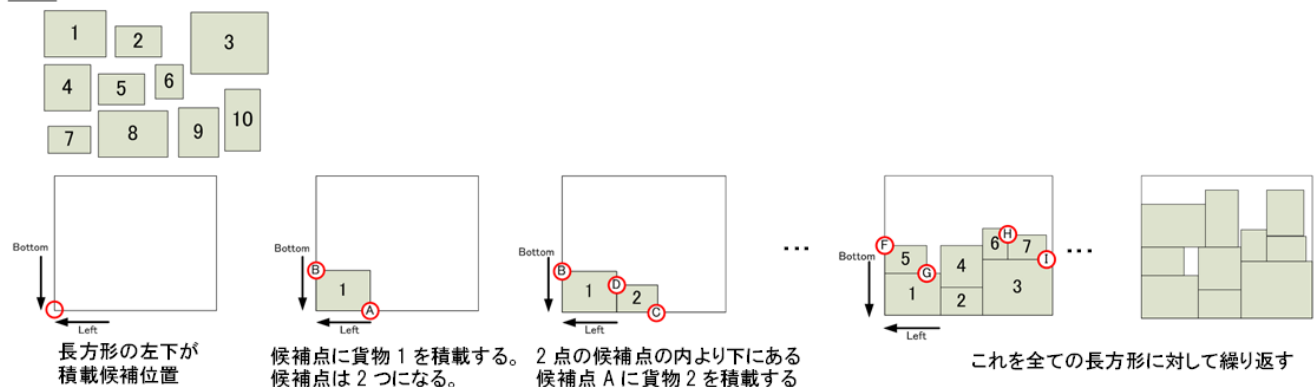
【BL 法から BLD 法への数理的拡張】(図参照)

BL 法 : 貨物の積載順序に従い、「できる限り下(Bottom)」へ、同じ高さであれば「できる限り左(Left)」へ詰め込むアルゴリズム。詳細な手順は以下の通り。

- ① 詰め込む対象の直方体に任意に番号を振り、その数値を貨物の積載順序とする。
- ② 初めは長方形の左下の点のみが積載できる点(積載候補位置:図内の赤丸)とする。
- ③ 候補点に積載順序1の貨物を積載する。すると、積載候補点は図内のA、Bの2つに更新される(左下となる点を探す)。
- ④ 2つの積載候補点の内、できる限り下にある候補点Aを選び、積載順序2の貨物を積載する。(もし、貨物が大きくこの位置に積載できなければ、次の候補点Bを選んで積載する)
- ⑤ 同様に積載候補点の更新、積載候補点の優先度順に積載していき、全ての長方形に対して繰り返していく。

BLD 法:3次元空間(縦・横・高さ)に対し、積載優先度に従って「できる限り下(Bottom)」へ配置し、同じ高さであれば「できる限り左(Left)」へ、さらに水平方向のLeftの方向軸で同じ位置であれば「できる限り奥(Depth)」へと規則的に敷き詰めるアルゴリズム。詳細な手順はBL法と同様であるが、複数ある積載候補点の優先度が3次元に拡張されたものとなる。

BL 法



BLD 法

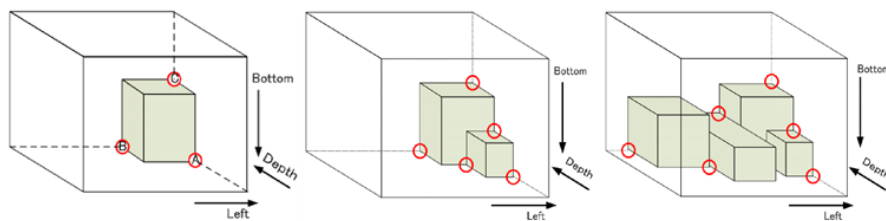


図 BL 法から BLD 法への数理的拡張

この基本ロジックをベースに、ULD 特有の輪郭形状(アッパーデッキ・ローデッキの傾斜角)や、貨物ごとの天地無用・段積み制限・重量制限といった制約を数理モデルへと組み込んだ。実は当初は別ロジックをベースにする想定であったが、現場見学や紙の模型(自作)を使ったヒアリングを通じて、問題があることが分かり、方針転換を行ったこともあった。そのような紆余曲折はあったものの、新しく構築したアルゴリズムにより、これまで熟練者が頭の中で数十分かけて描いていた立体的な配置パターンを、コンピュータ上で瞬時に自動計算・生成することが可能となったのである。

2.3 人間とシステムの協調設計 — 「追い積み機能」と「3D可視化」

どれほど優れた最適化アルゴリズムを構築しても、実際の現場オペレーションにおいては「直前に急遽入荷した緊急貨物」や「特定の荷主への配慮」といった、事前にデータ化しきれない土壇場の制約や文脈が発生する。アル

ゴリズムが出した結果を「100点満点の正解」として現場に強制すれば、システムは確実に拒絶され、使われなくなってしまう。そこで本システムの設計においては、「計算機に任せる領域」と「人間(熟練者)が判断・調整する領域」を美しく調和させる、以下3点の人間中心の工夫を凝らした。

① 計算実行までのハードルを下げる「選択式 UI」と「2モード計算」

現場の配車・計画担当者が操作に迷わないよう、複雑なパラメータ入力を廃し、条件選択はシンプルな選択式とした。さらに計算実行時には内部で異なる探索方針の2モードを同時に計算させ、担当者が結果を比較して直感的に選択・判断できるように設計した。

② 熟練者のこだわりを活かす「追い積み機能」

自動生成された積み付け結果に対して、計画担当者がマニュアルで貨物を追加・移動・微調整できる「追い積み機能」を実装した。これにより、システムが弾き出した高効率なベースプランに対し、現場のベテランが自身の暗黙知や直前の変化(追加貨物の割り込み等)を柔軟に反映させることが可能となった。

③ 属人性を排除する「3D グラフィックス可視化」と「定量的評価機能」

従来は平面の帳票や図面でしか確認できなかった積み付けプランを、画面上にリアルな 3D 立体グラフィックスで可視化した。回転・拡大・断面確認が可能な3D 表示に加え、積載率や重量重心位置の「評価値(スコア)」を即座にチェックできる機能を設けたことで、これまで個人の中に閉じていた「プランの良し悪し」が誰の目にも一目瞭然となった。

2.4 成果とシステム科学的考察

システム導入後の効果は以下の通り。当初の課題は解決でき、「暗黙知」と「形式知」を相互に変換するようなプロセスを実践できたと言える。

- 回答時間の大幅短縮:顧客からのスペース問合せに対する回答時間が、従来の20~30分からわずか5分程度へ短縮され、営業機会損失の防止とサービス品質の向上に直結した。
- 計画精度の均一化:経験の浅い担当者であっても、熟練者と同精度の高品質な積み付けプランを短時間で作成可能となった。
- 教育と改善活動の加速:3D で可視化されたプランがデジタルデータとして蓄積され、チーム内でいつでも振り返りや比較検討ができる状態が生まれた。

3. 事例2: 建材メーカの幹線輸送における積み付け最適化

業務改善において直面するのが、「一つの工程の改善(部分最適)が、別の工程に新たな問題を生む」という問題である。筆者らが支援した大手建材メーカにおける幹線輸送の業務においては、この難しさが発生していた。当時は、トラックドライバーの荷役(積み下ろし)作業における負荷軽減や、手作業でのバラ積みによる長時間手待ちの解消を目指し、荷姿を従来の「バラ積み」から「パレット輸送」へと全面的に転換する取り組みが進められていた。現場作業の効率化という点では大きな成果を上げたものの、積載率は低下してしまった。というのも、製品の種類や寸法が多岐にわたる建材分野では、パレット化によって「荷物の外形サイズや高さの組み合わせパターン」が爆発的に増加したのである。その結果、従来の経験則に基づく車両手配が通用しなくなった。そのため、輸送できないことを避けるべく、運送会社へ「念のための過剰手配」が発生し、積載率を低下させていた。

この課題に対し、筆者らは次に示す2段階の最適化アプローチを構築・適用した。

- ① 第1段階(パレット積み付け最適化): 多様な寸法の建材製品を、パレット単位へ高密度かつ安全に割り当てて組み合わせ最適化。長尺製品を含む積み合わせは、出荷建屋の位置も考慮しつつ、長尺製品に上積みできる製品も条件化するなどの機能も実現している。
- ② 第2段階(トラック積み付け最適化): 出来上がったパレット群を、トラック荷台空間へ効率的に配置する組合せ最適化。

当初は、今の積み付けを精緻に再現しなければ、業務で使ってもらえるものにはならないと考えていたが、対話が続ける中で、「配車」台数の精度を上げることを目的とし、ある程度は現場の調整シロを残すことにした。そこで、プロトタイプ開発と検証を数回行い、目的に見合った精度であると現場から納得してもらうことができ、日々の業務で活用してもらえるようになった。モデル化の方針が途中で変わったことになるが、適切なモデル設定とすることができたと言える。さらに、積み付け計算結果は簡易的ではあるが可視化図を用いて出力していることもあり、トラックの空きスペースが見込める場合の対処(輸送タイミングの調整や他製品との混載等)がしやすくなるという効果もあった。全てを正確に計算していないため、その計算結果は数学的な最適解ではないが、現場にとっても、経営側のKPIとして満足できる解であると言え、最適化アプローチのあるべき姿であったと考えている。

4. 事例3：日用品・消費財メーカーにおける積み付けの標準化

「運ぶ」の最適化は、建材のような大型製品だけでなく、日用品・消費財のロジスティクスにおいても威力を発揮する。日用品メーカーの物流拠点では、形状・サイズの異なる段ボール箱やケース製品が毎日大量に出荷される。特に、サイズや重量は多種多様であり、パレットこそ一般的なサイズのものを使っているが、積み付け高さは製品サイズや数量によってまちまちになる。さらに、重量勝ちする製品、容積勝ちする製品が混在している状況であるため、配車計画の作成は極めて難易度の高い業務となる。従来は、熟練の計画担当者が「勘と経験」で判断していたが、製品ラインナップの頻繁な入れ替えや季節変動、さらにはベテラン社員の高齢化・退職に伴い、計画作成の「属人化」が深刻なリスクとなりつつあった。

この課題に対し、トラックの荷台サイズとパレットの寸法・重量・段積み制限を組み込んだ新たな「積み付け最適化モデル」を構築した。単に詰め込むだけの最適化ではなく、パレット荷の高さを再調整することで、積載効率を上げるアルゴリズムとした。

システム化の導入により、複雑な制約を満たす積み付け計画を短時間で自動立案できるようになり、配車業務の工数を5～10%削減することに成功した。さらに重要な成果は、これまでベテランの頭の中にしか存在しなかった「安全かつ高密度に載せる技術(暗黙知)」がシステムとして標準化され、経験の浅い担当者であっても高品質な計画を作成できる「計画業務の平準化」が実現した点にある。

5. プロジェクトにおける工夫

5.1 「暗黙知」の「形式知」化(コミュニケーションの工夫)

OR 技術や最適化アルゴリズムは、数学的にどれほど優れていても、現場の人間が納得し、使いこなせなければ意味を持たない。最先端の数値モデルを現実のオペレーションに定着させる上で、最も重要なのは「現場の「暗黙知(こだわりや制約)」をいかに正しく抽出し、「形式知」化するか」というプロセスである。そのため、筆者が長年の現場コンサルティングにおいて最も大切にしてきたのが、顧客とのコミュニケーションである。

例えば、トラックやパレットへの3次元積み付けにおいて、数式や仕様書上のパラメータ(数字や記号)だけで議論を進めようせず、可視化ツールを用いたり、時には紙の模型を作るなどして、対話を行うよう工夫している。そうすることで、マニュアルには決して書かれていない現場の生きた「暗黙知」を次々と聞き出すことができる。この粘り強い対話プロセスを通じて抽出された現場の知識は、そのまま数値モデルの「制約条件」や「目的関数」へと形式知化される。SICニューズレターVol.1.5(2019.9)の「寄稿」記事において奥雅春氏が主張された「文理融合型のシステムイノベーション(理系知であるアルゴリズムと、文系知である人間の意味・こだわりとののり付け)」とは、まさにこのような現場の作業者との対話の重ね合わせによって達成されると考えている。

5.2 「アルゴリズム先行開発・検証」によるアジャイルな信頼構築

現場との合意形成を導くもう一つの実践的工夫が、「アルゴリズム(最適化エンジン)の先行開発と実データによる検証」である。一般的なITシステム開発では、画面デザイン(UI/UX)や基幹システムとのインターフェース設計から着手し、システム全体が完成した最終段階で初めて最適化エンジンの計算結果を現場に見せることが多い。

しかし、このアプローチでは「数ヶ月かけて巨大なシステムを作ったが、出てきた計画が現場の感覚と乖離しており使えない」というミスマッチが起りやすい。筆者らのアプローチでは、システムの「器(画面やシステム連携)」を作る前に、まずコアとなる最適化アルゴリズムを最小限のプロトタイプとして早期に開発する。そして、顧客から提供いただいた「過去の実際の運行データや出荷データ」を用いて計算する。「もし昨月の配送計画をこの最適化エンジンで解いていたら、トラック手配台数はこう変わり、積み付け姿はこうになります」という結果を、実データとともに現場の担当者へ提示する。実データに基づく計算結果を早期に目に見える形にすることで、現場から「この便の組み合わせは現場では無理だ」、「この計算結果ならベテランより効率的だ」といった具体的なフィードバックが即座に得られるようになる。フィードバックがもらえれば、それをもとにアルゴリズムの制約条件をアジャイルに修正・洗練させていくことができる。この「事実情報(ファクト)」に基づく高速なプロトタイピングと検証の繰り返しこそが、SICニューズレターVol.8.2(2026.2)の山本政氏の「論説」記事にある「最適化モデルのホワイトボックス化」を具現化し、開発初期段階から現場との深い信頼関係の構築に有効な手段となるのである。

5.3 人間中心のモデル化プロセス

上述した事例が示すように、OR 技術によるロジスティクス最適化の本質は、単なる「計算の自動化」ではない。現場のプロフェッショナルが持つ優れたノウハウ(暗黙知)をリスペクトし、「現場の作業者との対話」や「実データによるアルゴリズム検証」を通じて対話を重ね、それを誰もが共有できる仕組み(形式知)へと昇華させる。この「人間中心のモデル化プロセス」こそが、複雑化する社会システムにおけるキーになると考えている。

6. おわりに

筆者の所属する株式会社構造計画研究所は、「大学・研究機関と実業界をブリッジする」という企業理念のもと、社会の多種多様な課題解決に挑む技術コンサルティング企業である。創業以来、建築構造解析をはじめとする多様な工学知(エンジニアリング)を駆使して社会に貢献し、本年(2026年6月)で創業70周年の節目を迎えた。

当社には「人間は人間がやるべきクリエイティブな業務に時間を割くべきであり、単純で繁雑な作業はコンピュータに委ねる」という創業以来の思想がある。筆者が携わる OR 分野はその一端に過ぎないが、どの業界においても、現場のプロフェッショナルの方々が日々頭と手をフル活用し、きめ細やかに業務を回されている姿には、ヒアリングのたびに頭の下がる思いがする。同時に、誰もが日々の業務に追われ、「業務そのものをより良く改革するための時間」を確保できずに苦しんでいるという共通の課題も浮き彫りになる。OR 技術は、膨大な選択肢の中から数学的根拠に基づいた最適解を導き出せる点で非常に優れている。しかし、どれほど技術が進歩し、計算機の処理能力が向上しようとも、現実世界の制約や人間の思考プロセスを正しく理解し、「モデル化」できなければ、その技術は何の役にも立たない。

近年、生成 AI の急速な普及により、プロジェクトの進め方は大きく変化した。ソフトウェア開発や試作にかかる時間は大幅に短縮され、お客様とのコミュニケーションの頻度や精度も飛躍的に向上している。しかし、「現実的に即して正しくモデル化する」ことの難しさや重要性そのものは、どれほど AI が進化しても変わらない。新しい技術によって生み出された時間を、現場の声を深く聴き、粘り強く本質的なモデル化に注力するために使う。筆者はこれからもこの愚直で人間味あふれるアプローチを大切に、社会の「運ぶ」の課題解決に挑み続けていきたい。

(2026年9月24日原稿受領)

I センター情報

① SICシンポジウム2026「SCM とロジスティクスの進化の方向」開催案内

サプライチェーンマネジメントとロジスティクス産業におけるシステム化について、その進化の方向を見極める「SICシンポジウム2026」を開催します。

日本のサプライチェーン、ロジスティクス産業が進むべき方向性を、産官学のリーダーによる基調講演とパネルディスカッションにより、分野横断で議論する場を創出します。

【主催】 一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC)

【協賛】 東京大学SCMリカレント教育プログラム

【共催】 東京大学大学院工学研究科附属トランスポート・イノベーション研究センター

【日時】 2026年10月22日(木) 14:00~18:50

【会場】 東京大学 本郷キャンパス「福武ホール」(オンライン参加も併用)

<https://fukutake.iii.u-tokyo.ac.jp/>

【参加費】 無料(参加には事前登録が必要です)

【参加登録】 SICイベント参加登録ページ

(<https://sysic-org.sakura.ne.jp/SICregistration.html>)より、
記載の案内に沿ってお願いします。

【プログラム】

総合司会 SIC実行委員長 松本隆明

14:00~14:10 開催挨拶 SICセンター長 浦川伸一

14:10~15:50 基調講演 (各20分、計100分)

(1) 「4つの視点と7つの提言」

藤野直明 (株式会社野村総合研究所 シニアチーフストラテジスト)

(2) 「2040年に向けたフィジカルインターネットの実現」

工藤さやか (経済産業省 物流企画室室長補佐(総括))

(3) 「物流の全体最適とシステム思考~トップダウンとボトムアップ~」

西成活裕 (東京大学大学院工学系研究科教授)

(4) 「『SC システムの青写真』を描く人材をどう育てるか—SCM リカレント教育の実践」

青山和浩 (東京大学大学院工学系研究科教授)

(5) 「ロジスティクスの価値を再定義する」

櫻田崇治 (ロジスティード株式会社 業務執行役員 CTO エンジニアリングイノベーション本部長)

16:10~17:50 パネル討論 (計100分) コーディネータ: 松本隆明、パネラー: 各基調講演講師

テーマ: ①流通・物流産業の課題

②システムイノベーションの視点から見た目指すべき方向

③今後の課題と産官学連携の可能性

後半は参加者とのオープンディスカッション

18:00~18:50 講師と参加者のネットワーキングのための交流会

講師と参加者同志での新たなネットワーキングを図る場を提供します。(軽い飲み物を用意)

詳細は、SICホームページ内の案内(<https://sysic.org/news/5091.html>)を参照ください。

② SIC第3期システム科学概論連続講座「システム科学のための情報と数理」 (講義単位受講者募集中)

現代の複雑なシステムを理解するための「新たな知の基盤」が求められています
“複雑性を紐解き、未来のシステムをデザインする全6回の知的探求”

開催期間: 2026年6月12日～11月20日 (全6回 対面とオンライン講義を併用)

第1回、第2回、第3回、第4回は終了しています。

第5回(10月16日)、第6回(11月20日)の講義単位受講者を募集中です。

受講料: ● SIC正会員・準会員所属の方

講義単位で受講の場合、1 講義の受講料 6,000 円/人

● 非会員の方

講義単位で受講の場合、1 講義の受講料 8,000 円/人

(支払いは請求書払い)

詳細および申し込みは下記の URL を参照ください

<https://sysic.org/news/4993.html>

本講座の概要と開講スケジュール

システム科学の神髄は、多様な要素がいかに繋がり、全体として機能するのかを解き明かすことにあります。本講座では、情報科学と数理科学を「強力なレンズ」として用い、大規模システムの基礎概念から、最新のAI、圏論、人間拡張、そして未来のサイバー・フィジカルまでを体系的に網羅します。

システム開発を担う技術者、システムの実装・管理を担う実務者や、システムへの理解を求められている経営分野の方々を対象に、単なる知識の習得ではなく、複雑化する社会と技術を俯瞰し、自らシステムをデザインするための「知のOS」をアップデートする連続講座です。

「システム科学のための情報と数理」全6回講義 開講スケジュール

第1回	6月12日(金) 15:00-18:00	終了しました	システムをつなぐ情報と通信の数理基盤	出口光一郎 (SIC、東北大学)
第2回	7月3日(金) 15:00-18:00	終了しました	大規模動的システムと数理モデル	石井秀明 (東京大学)
第3回	7月24日(金) 15:00-18:00	終了しました	AIとシステム科学の接点ーマルチモーダル知能と実世界システムー	岡谷貴之 (東北大学, 理化学研究所)
第4回	9月11日(金) 15:00-18:00	終了しました	関係性の数理科学(圏論入門:システムは圏論でできている)	本多 敏 (慶応大学, 日越大学)
第5回	10月16日(金) 15:00-18:00	オンライン	Fusing Interactionー身体拡張から共体験へ向かう『境界のない世界』ー	嵯峨 智 (熊本大学)
第6回	11月20日(金) 15:00-18:00	対面(終了後 交流会)	情報と数理を基盤とする統合的システム デザインと未来社会	藤田政之 (金沢工大, 東京工業大学)

第5回

10月16日
15:00-18:00

講義形式:
オンライン講義

講師:
嵯峨 智
(熊本大学准教授)

Fusing Interaction —身体拡張から共体験 へ向かう『境界のない世界』—



講義概要

- ・VR/AR技術や人間拡張工学を核とした、身体とシステムが融合し境界が溶け合う新しいヒューマンインタフェース
- ・物理・生理・知覚の多角的な手法を用いた、触覚ディスプレイ、力覚提示、および感覚変容技術による「実感」の創出、
- ・熟練技能の継承を実現する教示技術と、遠隔地間での感覚共有により個人の体験を「共体験」へと進化させるデザイン、など。

講師紹介:

2007年3月 東京大学情報理工学系研究科システム情報学専攻博士後期課程 修了。2007年4月-2008年3月東北大学工学研究科バイオロボティクス専攻 助教, 2008年4月-2013年4月東北大学情報科学研究科システム情報学専攻助教, 2012年4月-2012年7月マサチューセッツ工科大学客員助教兼任, 2013年5月-2017年9月筑波大学システム情報系情報工学域准教授, 2017年10月-熊本大学大学院先端科学研究部准教授, 現在に至る。
力覚教示, 触覚センサ, 触覚ディスプレイをはじめとした、人間中心の双方向型触覚インタフェースに関する研究に従事。博士(情報理工学)。

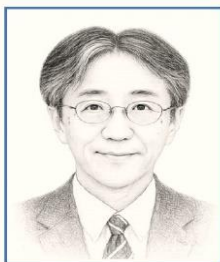
第6回

11月20日
15:00-18:00

講義形式:
対面講義(終了後
懇親会)

講師:
藤田政之
(東京工業大学名誉教授
金沢工業大学教授)

情報と数理を基盤とする 統合的システムデザインと未来社会



講義概要

システムの語源は「共に立てる(systema)」にあり、その思想は未来社会の構築に欠かすことができない。Society 5.0の中核をなすサイバーフィジカルシステム(CPS)はまさにサイバー空間とフィジカル空間を「共に立てる」ことを目指すものであり、1948年のウィーナーによるサイバネティクスの提唱以来、長足の進歩を遂げてきた。

一方で、1956年のダートマス会議においてマッカーシーが提案したAI(Artificial Intelligence)は、近年のフィジカルAI(Physical Intelligence)の台頭により、物理世界と高度に相互作用する劇的な進化を見せている。

本講義では、人間という要素をシステムの一部として内包する未来社会を見据え、CPSに人間(Human)を統合した「サイバー・フィジカル・ヒューマン・システム(CPHS)」について、新しいフィジカルAIを用いた統合的システムデザインの視点から論ずる。

講師紹介:

1985年早稲田大学大学院博士後期課程退学。1985年金沢大学助手、同講師、助教授、JAIST助教授を経て、1999年金沢大学教授。1994~1995年ミュンヘン工科大学(文部省在外研究員)。2005年東京工業大学教授。2012~2019年 JST CREST研究総括。2020年東京大学教授。2024年金沢工業大学教授、現在に至る。

SICE(計測自動制御学会) 会長、横幹連合副会長、IEEE CSS(Control Systems Society) Vice Presidentなど歴任。IEEE CSS Distinguished Member Award, IEEE TCST Outstanding Paper Award, SICE論文賞/教育貢献賞、東京大学工学部 Best Teaching Awardなど受賞。IEEEライフフェロー、SICE名誉会員/フェロー、工学博士。

④ SIC第3期システム科学概論連続講座「システム科学のための情報と数理」 第3回「関係性の数理科学(圏論入門:システムは圏論でできている)」 (2026. 9. 11)開催報告

【日時】 2026年9月11日(金) 15:00~18:00

【開催形式】 オンライン(MS-Teams)

【参加者数】 27名(講師・SICスタッフ含む)

【タイトル】 「関係性の数理科学(圏論入門:システムは圏論でできている)」

【講師】 本多 敏氏 慶応義塾大学名誉教授

【受講者ルポ】

本講義では、「システム思考の OS を圏論でアップデートする」というテーマのもと、複雑化する現代のシステムを、個々の構成要素の集まりとしてではなく、要素間の関係という視点から捉え直すことで、圏論が持つ高い抽象性と普遍性がシステム工学にどのような新しい視座をもたらすかについて解説された。

圏論とは、数学的構造やその関係性を抽象的かつ普遍的な視点で統一的に扱う数学理論である。通常の数学理論が集合論をもとに展開され、集合とその要素の所属関係に着目するのに対し、圏論では個別の対象の中身ではなく、対象と対象をつなぐ「矢印(射)」とその関係性に着目する。講義の前半では、圏論の基礎概念が順を追って解説された。まず「圏」とは、“対象”、“射”(対象と対象をつなぐ矢印)、各対象の“恒等射”(自分自身に戻る射)、及び結合律を満たす射の“合成則”を備えた構造であることが示された。続けて、圏の構造を保ったまま別の圏へ対象と射を対応させる「関手」が紹介された後、関手を対象とし、その間の関係を表す「自然変換」を射と見なす「関手の圏」を構築して議論を展開できる点や、「自然同型」、「圏同値」といった概念により圏同士の同値性を緩やかに捉えることで、より抽象度を高めた議論が可能になる点が示された。そして、前半の締めとして「米田の補題」が取り上げられた。これは、ある対象 A の正体を知りたいとき、A に出入りするすべての射の集まり(圏におけるネットワーク全体)を観察すれば、A 自身の情報を一切失わずに扱えることを保証する定理とのことで、直接捉えるのが難しく全容が分からない圏であっても、関手の圏やネットワーク全体との関係性に置き換えることで分析が可能になるという。中身の構造に立ち入らず外との関係性だけで本質を捉えるというこの視点は、圏論の真髄として強く印象づけられた。

講義の中盤以降では、圏論の考え方がシステム工学や最新の研究でどのように役立つか、具体的な事例や論文を交えて多角的に紹介された。

まず挙げられたのが「計測過程の構造の定式化」である。観測対象からデータを得る「順問題」と、データから元の状態を推定する「逆問題」に対し、「アーベル圏」(代数学の加群の圏やアーベル群の圏が持つ性質を抽象化した圏)に当てはめて捉え直す試みが示された。測定プロセスにおいて「失われた情報」を核(Kernel)に、「データとして捉えられた範囲」を像(Image)に対応させると、「ノイズや誤差によって生じる理想的なデータ処理からのズレ」をコホモロジー(像に対する核のズレを表す商空間)で評価できる。そして、そのズレを繰り返し補正しながら元の状態へと近づけていく計算プロセスを極限(Colimit)として捉えることで、複雑な逆問題を圏論という高い抽象度のもとで構造的に捉え直すことができる点が説明された。

計測という物理的なプロセスに続き、システム設計やモデル記述の領域における圏論の適用例として、MBSE(モデルベース・システムエンジニアリング)に関する CMGVC(Concept-Model-Graph-View Cycle)フレームワークの紹介があった。CMGVC は、設計者の頭の中にある「コンセプト」を「モデル」に形式化した後、直接ビューに変換するのではなく、一度「グラフデータ構造」へと変換した上で、このグラフ構造から様々な「ビュー」を生成し、そこから得られた気づきを再び「コンセプト」へと戻していく、という設計の循環プロセスである。ここで、「モデル」や「グラフデータ構造」をそれぞれ『圏』として、その間の変換を『関手』として見なすことで、本フレームワークを圏論の枠組みで捉えることができる。これにより、要素間の関係を保ったまま変換できることが数学的に保証される点や、モデルから直接ビューを生成する手法に比べてグラフ構造を介する手法の方が数学的に優れている点などが紹介された。

休憩を挟んだ講義の後半では、「オントロジーに基づく SoS(システム・オブ・システムズ)アーキテクチャ記述」の解説が行われた。オントロジーとは「共有された概念の形式的・明示的な特徴づけ」を意味する。多様な企業や他分

野が関与し、複数の独立したシステムが連携する大規模な SoS では、用語の解釈の違いや暗黙知による誤解が深刻な不整合を引き起こす。そのため、システムエンジニアの本質であるプロジェクトの言語化を進め、概念関係を厳密に定義する「オントロジーに基づくシステムエンジニアリング(OBSE)」の重要だという。そして、これを実現するには、用途や階層に応じて多様化するモデル記述言語(Systemigram、SysML、UAF 等)を、構造を保ったまま相互に変換・統合する技術が不可欠となる。講義では、「名詞(=対象)」「動詞(=射)」に対応させることで、日常の言語構造をそのまま図として定義できる「Olog」が紹介され、これを用いることで、人間の理解しやすさと数学的な厳密性を両立しながら相互変換・統合できる展望が語られた。

その他、「層によるセンサデータ統合」、「圏論に基づくシステム工学の数学的基盤」、「物理 AI のための構成的意味通信」など、最先端の学術動向にも触れられた。

講義全体を通して示されたアプローチは、複雑なシステムの本質を関係性から抽象的な視点で捉えるものであり、まさに思考の OS のアップデートという言葉にふさわしいものであった。非常に抽象的な圏論の考え方は、一朝一夕での理解は難しく戸惑いもあるが、講義の中で示された関係性から表される整然とした姿は、理解の先に見える新しい景色を予感させる刺激的な体験となった。

(ルポ: 藤田寛祐(構造計画研究所))



講義の初めに自己紹介をする本多 敏氏

【講師プロフィール】

本多 敏(ほんだ さとし)氏

1975年東京大学工学部計数工学科卒業、同学科助手、講師を経て、

1986年熊本大学工学部生産機械工学科助教授

1990年慶應義塾大学理工学部計測工学科助教授、1992年ドイツアーヘン工科大学客員研究員、

1998年慶應義塾大学理工学部物理情報工学科教授。

2017年4月～現在慶應義塾大学名誉教授、慶應義塾大学大学院 SDM 研究所上席研究員。

2025年8月～2026年8月 JICA 日越大学支援プロジェクト専門家/講師(コンピュータサイエンス&エンジニアリング分野)

2026年9月～現在 JICA 日越大学支援プロジェクト専門家(先端工学分野)

Ⅱ 会員活動

① 2026年度第8回SICフォーラム開催案内(会員限定)

【日時】 2026年10月29日(木) 16:00～17:15

【形式】 MS-Teams によるオンライン

【申込方法】 SICイベント参加登録ページ

<https://sysic-org.sakura.ne.jp/SICregistration.html>

より、記載の案内に沿ってお願いします。

【タイトル】 「AI 時代の DX 戦略」

【講師】 三谷慶一郎氏 独立行政法人情報処理推進機構(IPA) 理事・上席執行役員
チーフ AI オフィサー、チーフデータオフィサー

【講演概要】

爆発的な発展を続けている AI がもたらす社会的なインパクトは、これまで想像していた以上に大きな可能性が高い。AI の有効活用を前提とした DX (AX) はこれまでとは異なる新しい形になる可能性すらある。一方、日本企業における AI 活用は個人利用が中心であり、DX のもたらす効果はまだ十分とはいえない状況が続いている。

本講演では、IPA が実施した「DX 動向2026」を参考に、AI を軸にしながら企業 DX の現況と課題を整理していきたい。その上で、今後目指すべき方向性について、関連するデジタル政策(デジタルガバナンスコード、デジタルスキル標準、スキル人材プラットフォーム等)の状況をお話したい。

【講師プロフィール】

三谷慶一郎(みたに けいいちろう)氏
筑波大学大学院ビジネス科学研究科修了。博士(経営学)
NTT データ経営研究所において企業や行政機関におけるデジタル戦略立案に関連するコンサルティングを実施。経済産業省等で DX 政策に関連する検討会座長を務める。2026年から現職。
武蔵野大学国際総合研究所客員教授。情報社会学会理事。
著書「IT エンジニアのための 体感してわかるデザイン思考」(日経 BP)、「攻めの IT 戦略」(NTT 出版)、監訳書に「DX 経営戦略」(NTT 出版)等がある。



② 2026年度第6回SICフォーラム(2026. 9. 3)開催報告

【日時】 2026年9月3日(木) 16:00~17:15

【形式】 MS-Teams によるオンライン

【参加者数】 65名(講師・司会者・SIC事務局2名含む)

【タイトル】 「人材育成 ～グローバルビジネスに打ち勝つために～」

【講師】 新谷 勝利氏 一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC) 監事

司会 SIC実行委員長 松本隆明

【講演要旨】

はじめに、講師のこれまでの人材育成に関する経験等を紹介し、本講演では次の4つのトピックスについて考えていきたいとの発言があった。①なぜ人材育成が進まないのか？、②不足する人材を数えるのではなく、必要な人材を定義するへ、③社員が学ばないのは、意欲だけの問題か？、④SICは何を担うのか？

①なぜ人材教育が進まないのか？

人材教育に関する日本の現状は各種統計値を見ると以下の様になっている。

- ・働き手のエンゲージメント率(熱意を持っている社員の割合)は、2024年 Gallop 社の調査によると日本は世界140カ国中常に最下位クラス(世界平均23%、日本は6~7%)に位置する。
 - ・日本人の社会人の一日の平均学習時間は、ベネッセ教育総合研究所の「社会人の学びに関する国際調査(2025年)」によると約38分(米国・英国は約2時間、中国は1.5時間)となっている。
 - ・人材育成投資額は、ベネッセ教育総合研究所の「社会人の学びに関する国際調査(2025年)」によると、日本人の従業員一人当たり3~5万円(GDP 比約0.1%)、米国は約15~20万円(GDP 比約2.08%)となっている。
- 一方、人材の質的・量的不足度は、帝国データバンクの調査によると人材確保が困難と回答した企業は84%(2026年)で、この数値は世界41カ国・地域で2番目の高さである。

②不足する人材を数えるから、必要な人材を定義するへ

企業・組織のためにどのような人材がいくら不足しているのか？を見極め、不足人材を、組織目標達成のための必須人材として育成する。その為には企業・組織にどのような人材が必要かを定義することが重要。人材を定義するにあたり次の2つの軸が必要。

- ・何を知っているか？(どのようなエンジニアリングの知識体系(BOK:Body Of Knowledge)にもとづくか？)
- ・実際に何ができるか？(どのようなスキルと経験を持っているか？)

上記をマッピングする国際標準として、SEBOK(Systems Engineering BOK)、SWEBOK(Software Engineering BOK)、SFIA(Skills Framework for the Information Age)や、日本の場合はJIS規格や日本独自のDSS(Digital Skill Standard)がある。また、経済産業省の「METI 未来人材ビジョン」では、20世紀に重視された「注意深さ・正確性・責任感」といった要素の重要度が相対的に低下し、2030年~2050年に向けて以下のスキルが確実に重要になると定義されている。

- ・常識にとらわれない「問いを立てる力」(問題発見力)、「創造性・イノベーション」(ゼロからイチを生む力)、「好奇心・探求力」(学び続ける原動力)、「リーダーシップ・巻き込み力」(周囲と協力して変革を推進する力)

③社員が学ばないのは意欲だけの問題か？

必要な人材を定義して、良い教育プログラムを作っても、社員が学んでくれなければ意味がない、なぜ学ばないのか？社員がプログラムを活用しない(あるいはできない)のは、厚生労働省、労働政策研究・研修機構の調査によると、以下の理由を挙げている。

- ・「学んでも会社で評価されない」という冷めた視線
- ・「何を学べばいいかが分からない」という迷い
- ・「家事や教育・介護」との両立の限界
- ・「費用の自己負担」への抵抗感
- ・「適当なプログラムがない・情報が届かない」

これらの点に関しては、ライン管理者と話し合い、何らかな手を打つ必要がある。

さらに、人材の国際流動性への対応も今後は考えることが必要である。

- ・国境を越えたプロジェクトや多国籍チームにおいて、スキルの定義を共有化することは組織の透明性と評価の公平性を保つための必須条件である。

（スキルの客観的な測定と評価、グローバル基準の採用と配置）

- ・標準的なフレームワークを導入することで、スキルの可視化、キャリアパスの明確化、そして戦略的なリスクリングが可能となる。

（教育プログラムの最適化、組織全体の能力ギャップの特定）

④SICは何を担うのか？

SICのホームページを参考に、SICの人財育成が担う次の3つの役割を、まとめとして提言した。

- ・グローバルな人材交流のために、国際基準に基づく人材育成
- ・日本における DX 推進の観点から、DSS の教育
- ・従来の「システム人」の認定の推進と企業間コミュニティの作成

最後に、「SICは幸いにして学術協議会委員の皆さんに恵まれていることを活かして、更なる人材育成に関する議論が進められることを期待しています」との発言があった。

Q & A では、タスクによって必要なスキルは違うと思うので、モチベーションをあげるにはタスクとスキルの関係を明確にすることが必要では、との意見があった。

（文責：中野一夫(SIC実行委員)）

【講師プロフィール】

新谷勝利(しんたに かつとし)氏

- ・1969年 京都大学工学部航空工学科卒業、日本 IBM にカスタマー教育インストラクターとして入社後、製造業のシステムズ・エンジニアを経て、金融機関の勘定系システムに特化したデータベースシステム IMS/VS 拡張版 Fast Path 等のパッケージ製品開発に従事。90年代は、同社開発部門のリエンジニアリング・スタッフ
- ・日本 IBM を退職し、NPO 組織の理事・事務局長に就任。
- ・2004年9月～2019年 ソフトウェア・エンジニアリング・センター調査役
- ・2013年～早稲田大学グローバルソフトウェアエンジニアリング 招聘研究員 GQM+ Strategies 推進
- ・2016年～2020年慶應義塾大学 SDM 西村研究室 研究員
- ・2025年～ 現在 (一社)システムイノベーションセンター(SIC) 監事
- その他、広島修道大学、広島大学、神奈川大学、国際基督教大学にて非常勤講師
- 2006年3月まで、ソフトウェア技術者協会の監事、プロジェクト・マネジメント協会の評議員



③ 2026年度第9回実行委員会開催報告

【日時】 2026年9月15日(火) 15:00～17:00
【開催形式】 MS-Tems によるオンライン開催
【出席者数】 実行委員12名、監事2名、事務局1名、合計15名

司会 松本隆明実行委員長

議題

1. 報告事項

- | | |
|--|-----------|
| 1. 1 SICフォーラム2026年度第6回(9・3)開催報告 | 久保忠伴事務局次長 |
| 1. 2 SICフォーラム2026年度第7回開催案内
9月30日(水) 14:30～15:45
タイトル:「科学とビジネスの近接化」時代の産学連携政策について」
講師:経済産業省 小笠原憲二氏 | 同上 |
| 1. 3 SICフォーラム2026年度第8回開催案内
10月29日(木) 10:00～11:15
タイトル:「AI 時代の DX 戦略」
講師:IPA 理事・上席執行役員 三谷慶一郎氏 | 同上 |
| 1. 4 「システム科学概論連続講座」第4回(9・11)開催報告
第5回～第6回の講義単位の募集は継続中 | 出口光一郎事務局長 |
| 1. 5 ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会(RRI)との連携について
・「RRI との提携協定覚書」8月31日付で締結の報告
・RRI WG1 の全体会議(9・1)で松本実行委員長によるSICの活動紹介の報告 | 久保忠伴事務局次長 |

2. 協議事項 (フリー討議形式)

- | | |
|---|------------------------|
| 2. 1 AI・SoS 分科会第2回(9・15)開催報告 | 寺野隆雄分科会主査 |
| 2. 2 外部団体との連携
①連携協定締結後の RRI とのベストコラボレーションの在り方について
②横幹連合との協力活動の推進について | 松本隆明実行委員長
出口光一郎事務局長 |
| 2. 3 SICシンポジウム2026「SCM とロジスティクスの進化の方向」開催案内
日時:10月22日 14:00～18:50 場所:東京大学 福武ホール | 同上 |

3. 広報活動

- | | |
|--|----------|
| 3. 1 SICニュースレター10月号発行予定と12月号までの巻頭記事執筆予定者
2026年10月号巻頭記事
「論説 「運ぶ」を最適化する～現場での問題解決事例を中心に～」
株式会社構造計画研究所オペレーションズ・リサーチ部 部長 矢野夏子氏 | 中野一夫実行委員 |
|--|----------|

次回、次々回の実行委員会開催予定(オンライン開催)

2026年度第10回実行委員会 10月20日(火) 15:00～17:00
2026年度第11回実行委員会 11月17日(火) 15:00～17:00

Ⅲ 会員企業一覧

正会員

SCSK株式会社

株式会社NTTドコモ

株式会社国際電気

株式会社東芝

株式会社野村総合研究所

株式会社日立システムズ

東京電力パワーグリッド株式会社

マツダ株式会社

ロジスティード株式会社

NTTドコモソリューションズ株式会社

株式会社構造計画研究所

株式会社JSOL

株式会社ニューチャーネットワークス

株式会社日立産業制御ソリューションズ

株式会社日立製作所 研究開発グループ

システムイノベーションセンタ

日鉄ソリューションズ株式会社

横河電機株式会社

準会員

アメリス株式会社(準2)

東京ガス株式会社(準2)

電腦バンク株式会社(準1)

NEXT WIND 合同会社(準1)

(準1):インキュベーション会員、(準2):人財育成限定会員

(2026年10月1日現在:五十音順)

©SIC 2026.10

発行者: 一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC)

代表理事・センター長 浦川伸一

編集者:SIC実行委員 中野一夫(構造計画研究所 HD)

事務局 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-12-7 ストック新宿 B-19 号

URL: <https://sysic.org> E-mail: office@sysic.org Tel.Fax:03-5381-3567