

特集事例

社会イノベーション事業での経営工学の活用

小倉 孝裕*・内田 吉宣*・皆川 剛*
矢野 浩仁*・多田 泰之*・近藤 洋史*

Application of Industrial Engineering to Social Innovation Business

Takahiro OGURA, Yoshinobu UCHIDA, Tsuyoshi MINAKAWA,
Kojin YANO, Yasuyuki TADA and Hirofumi KONDO

キーワード：社会イノベーション，経営工学，デジタル技術

1. はじめに

エネルギー資源の不足や環境負荷の増大など，社会が抱える課題はますます複雑化している。日立は，社会インフラをはじめとする幅広い領域において，お客さまとの協創を通じて，社会やお客さまが直面しているさまざまな課題を最新のデジタル技術を活用して解決する社会イノベーション事業を推進している [1]。事業推進にあたり，日立グループの多様な事業基盤や日立が長年培ってきた OT (Operational Technology)，IT，プロダクトを組み合わせたトータルソリューションや，IoT プラットフォーム「Lumada」，ワールドワイドな事業者とのパートナーシップを活用したオープンイノベーションのなか，ビッグデータ解析やシミュレーション，数理最適化などの経営工学の手法を用いている。本稿では，日立が社会イノベーション事業を推進する「モビリティ」「ライフ」「インダストリー」「エネルギー」「IT」の5つの領域に加え，社会イノベーション事業を効率的に推進するための「マネジメント」領域における経営工学の活用例を紹介する。

2. モビリティ事例

2.1 背景・課題

日立が担うモビリティ領域のうち，ここでは鉄道分野，特に運行管理に関する事例を紹介する。

鉄道の運行管理では，事前に作成した計画を基に当日の列車の運行状況を管理する。運行管理を担当する指令員は，列車が遅れると，必要に応じて運転整理，即ち列車ダイヤの再計画を行う。運転整理の内容は列車の運休や出発順序の変更，運転間隔調整など状況に応じてさまざまであり，関係部署との調整を含め短時間で行う必要がある。指令員の負荷は高く，現時点での運行状況から予想される未来の状況の見える化や運転整理案の作成について，システムによる支援が望まれている。

また，欧州ではすでに無人運転メトロが運用されており，時間帯に応じた運転間隔で，24 時間 365 日，休むことなく列車が運行されている。そのような世界において，移動の快適性向上や環境負荷の低減を実現する「需要に応じた列車運行」ソリューション (図 1) では，運転整理案の自動作成に加え，現在時刻から数時間先までの需要を正確に予測することも課題となる。

* 株式会社日立製作所

受付：2019年10月20日

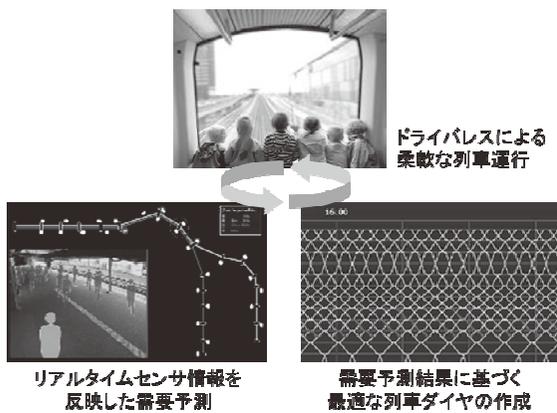


図1 「需要に応じた列車運行」ソリューション例

2.2 概要

上記課題の解決のため、以下のような経営工学の手法を活用している。

未来の運行状況の見える化では、運行管理対象となる全列車の各駅の着発時刻を数秒～10秒程度の短い時間のなかで推定する必要がある。その際に考慮すべき条件は最新の列車ダイヤのほか、車両性能や設備に依存する条件、他列車の運行状況に依存する条件など多岐に渡る。そこで、汎用性と応答性とを両立させるべく、列車運行のシミュレーションにはPERTを応用した手法を用いている。さらに、PERT図のグラフ構造を分析し、デッドロックの発生など、列車ダイヤの矛盾検知に用いている。

運転整理案の作成は、列車の走行順序など列車運行シミュレーションで課していたいくつかの制約を緩和することでより良い列車ダイヤを求める問題である。現時点で予想される未来の遅延や混雑度を列車運行シミュレーションや需要予測の結果から求め、状況を改善する案を組み合わせ、探索によって求める。アプリケーションごとに応答性と最適性の重みが異なるため、様々なヒューリスティクスを用いた複数の求解手法によって対応している。

需要予測では「どの駅からどの駅まで、どのくらいの数の旅客が何時頃に移動したいか」を予測する。対象の都市によっては経年的なトレンドや季節性も考慮する必要があるため、過去の実績データを用いた推定手法を適用している。さらに当日の予測の

推定精度を高めるために、リアルタイムのセンサ情報を用いた補正も行っている。センサ情報としては改札での入退場データや列車の応荷重データのほか、既設の監視カメラ映像などの利用が考えられる。

3. ライフ事例

3.1 背景・課題

日立では「誰もが暮らしやすいまちづくりの実現」をめざし、都市・医療分野をはじめとしたQoL (Quality of Life) を向上させる新サービスの開発を進めている。これら生活を支えるサービスには、人々のライフスタイルの多様化にこたえつつ、維持コストを抑えた高い持続性が求められる。ここでは都市内のラストワンマイルの公共交通を例にして、利用者の多様性とシステムの持続性の両立をめざした事例を紹介する。ラストワンマイルを支える公共交通の一つにバスがある。バスは市民生活を支える主要な公共交通手段であるが、走行するルートや停留所が固定されているため、必ずしも利用者の希望する出発地や目的地をカバーしていない。一方でバス事業は、黒字事業者が日本全体の30.6% [2] となっており、今後の人口減少による利用者減も予想されることから、事業の持続性が課題となっている。

3.2 概要

利用者の利便性、事業者の持続性を両立させるため、日立ではITとモデリング技術を活用した新しい都市の公共交通システムの研究開発を進めている。本システムの特徴は、通常はバスのように運行しつつ、利用者の利便性と事業者の収益性を考慮して、お互いがWin-Winとなる運行ルートに自動的に変更していくことにある。図2は乗車位置選択イメージを示している。利用者がスマートフォン上で希望する行程を設定すると、最も近くを運行する公共交通のなかで、(1) 停留所まで歩いた場合、(2) 希望位置まで公共交通を呼び寄せた場合、(3) 停留所と希望位置の中間点を乗車位置にした場合、の3案の所要時間と増減ポイントを提示する。増減ポイントは、利用者の疲労、公共交通のルート変更に関する

る事業者コストをモデル化し、これらを低減する最適点に誘導するためのインセンティブ量をポイント値として算出している。利用者はその時の状況に応じて案を自由に選択することができ、利便性が向上する。

図3は、公共交通事業者側での運行比較の例であり、左側は従来の公共交通の運行状況、右側は提案方式の運行状況を示している。地図上の線は運行ルートを示しており、提案方式はより広い範囲を公共交通がカバーしていることがわかる。画面左右のグラフの上側は利用者の総歩行時間、下側は公共交通の総移動距離を示している。グラフより提案方式によって利用者の総歩行時間が大きく減少している一方で、公共交通の総移動距離があまり変わらないことがわかる。これにより利用者の利便性の向上と、事業者の持続性を両立させた運行が可能となる。

4. インダストリー事例

4.1 背景・課題

日立は、物流、生産、調達、保守といった製

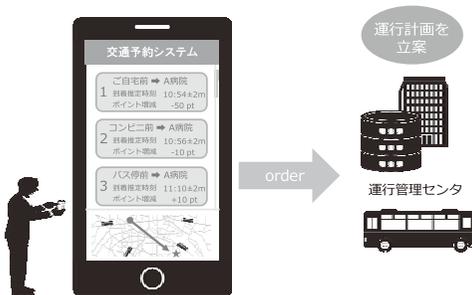


図2 乗車位置選択イメージ

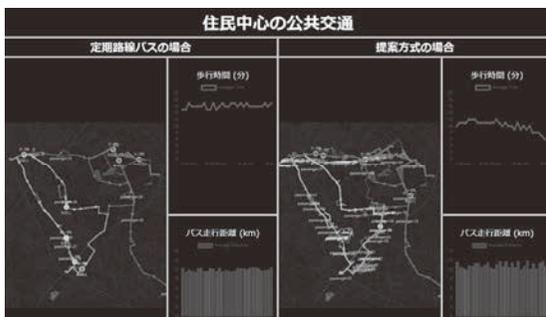


図3 バス事業者側の運行比較

造・流通業のさまざまな領域の課題を解決するソリューションを開発、提供している。ここでは、物流領域で経営工学の手法を活用した事例を紹介する。物流領域では、配送網のグローバル化、労働人口の減少によるドライバー不足、e-Commerce (EC)の普及による配送の小口化、多頻度化が進んでいる。このような環境のもと、顧客の望む場所、時間に、高効率に配送するには、(1) 倉庫配置や輸送手段などの物流ネットワークの最適化、(2) 各倉庫に保持する在庫量や出入庫人員・トラックなどのリソース配置の最適化、(3) 手配したトラックのサイズ・台数・ドライバー制約のもとで効率的なルート・順序を決める配送指示の最適化、が求められる。

4.2 概要

上記に示した3つの最適な意思決定を支援、さらには自動化する技術を開発、提供している(図4)。

(1)の物流ネットワークの最適化では、FTA (Free Trade Agreement)などにより複雑化する関税や為替、地域ごとに異なる人件費、船・飛行機・トラックなどの輸送手段により異なる配達所要時間、倉庫の新設・統廃合コストなどを考慮し、顧客の要求納期を満たしたなかで、トータルコストが最小となる、倉庫配置および輸送手段を数理計画法により自動で導出するソリューションを提供している。

(2)のリソース配置の最適化では、一例として、EC普及による24時間出荷対応や、顧客嗜好多様化による品種数の増加、製品の短ライフサイクル化な

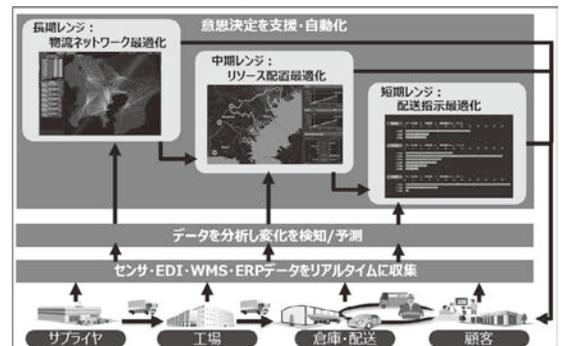


図4 物流領域のソリューション例

どにより難易度が増した在庫オペレーションに対して、サプライチェーン（SC）上の各倉庫や工場のシステムと連携し、数万品種、数千拠点からなる End to End の SC が連携した最適在庫オペレーションの自動化ソリューションを提供している。この実現のため、実際のモノ、キャッシュと、その流れを制御する各倉庫の在庫オペレーションのロジックをそのままサイバー空間上に表現し、今後発生する可能性がある需要・供給状況ごとに最適なロジックとそのパラメータの組合せをシミュレーションと AI により高速学習する技術を用いている。そして、日々の在庫オペレーションは、学習したどの需要・供給状況に近いかを判断し、各拠点のシステムの在庫補充・引当てロジックを更新し、自動実行する。

(3)の配送指示の最適化では、トラックの積載容量や納品先の荷受可能時間、渋滞情報などの交通制約やトラック横づけスペースなどの倉庫制約を考慮し、ドライバーの労働時間や運搬コストが最小となる配送ルート・順序を数理計画法により自動で導出するソリューションを提供している。

5. エネルギー事例

5.1 背景・課題

高い品質の社会生活には電力エネルギーは欠かすことができない。一方、持続可能な社会を実現するためにエネルギー源は、温室効果ガス低減の観点も相俟って、限りのある化石燃料から再エネ電源への移行が急がれている。また、働き方改革に代表さ

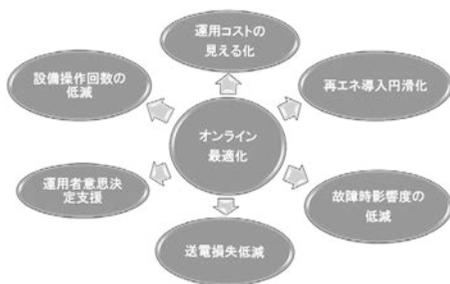


図5 オンライン最適化のベネフィット

れる労働生産性の向上には例外がなく、専門的な知識を持ったエンジニアによる電力系統の高度な解析や安定な運用の実現も合理化が強く要求されている。さらに、日本は人口減少社会へ突入し、高度経済成長時に構築した諸々の社会インフラの品質を維持、向上させつつ、合理的に縮退する難しい要求が存在するが、電力インフラも例外ではない。このような背景のもと、日立は数理最適化技術により得られる適切な運用状態をオンラインで適用する新しい運用技術の確立をめざして送配電事業者の方々と検討、開発している。再エネ導入により惹起される不確定性に対するロバスト性を高めたり、設備合理化や作業効率化を図ったり、多岐の問題を解決することを可能にすることを主目的としている。

5.2 概要

電力系統の運用性能に大きく左右する変電所母線電圧の全系的な状態を最適潮流計算（Optimal Power Flow: OPF）とよばれる数理最適化を利用してオンラインで決定する技術 OPENVQ（Optimized Performance Enabling Network for Volt/var (Q)）を開発している。OPENVQでは、電力系統の送電電圧を調整可能範囲（e.g.±5%）で最適に設定することで、図5に示す諸々のベネフィットを獲得することを目的としている。

OPFは、整数混合非線形最適化問題となるため、1960年代にはその有用性が認識されていたが、近年の数値計算技術の進歩で実用的な解を安定に得ることが可能になり、実現可能性が見えてきた。一方で、万が一にも OPF 演算の信頼性に起因する不具合（数値発散や不適切な解への収束）があってはならないことから、実用化に向けて周辺技術も含めた検討を慎重に進めている。

6. IT 事例

6.1 背景・課題

日立では、健康保険組合に対する保健事業高度化支援を通じて、健康診断結果と診療報酬明細書情報の分析に関する技術を蓄積してきた [3]。

民間保険業界においては保険×テクノロジーによるイノベーション創生への注目度が高まっている。しかしながら、保険ビジネスと最新の分析技術の両方に精通した人材を短期間に育成することや獲得は困難であり、課題となっていた。一方で日立は、医療ビッグデータ分析のノウハウの生命保険会社向け展開を模索していたが、具体的なニーズ把握については保険会社の協力が不可欠であると感じていた。そのようななか、日立と第一生命保険株式会社（以下、第一生命）は両社の狙いと課題が相互に補えるパートナーとして共同研究を開始した。

6.2 概要

民間保険においては、加入希望者の告知情報や健康診断結果などを用いて引受が可能か否かの査定を行う引受査定という業務が存在する。基本的に加入者を増やしたいが、持病のある人や将来の死亡などリスクが極めて高い人を数多く引受してしまうと、将来の支払いが予定より大きく超えてしまい保険そのものが成り立たなくなる。つまり、引受査定は加入者全体としてのリスク量を保ち、保険を安定的に運営するための重要な業務である。日立と第一生命の協創においては、ビッグデータを活用した引受査定基準の最適化を目的に、日立の持つ分析ノウハウと第一生命が持つ保険医学・医務査定の専門知識を用いて、第一生命が長年の保険事業で蓄積してきた保険加入時の健康状態と保険給付実績を分析することで、加入時の健康状態から将来の生活習慣病における入院日数を誤差 5%以内で予測するモデルを開発した（図 6）。構築した入院日数予測モデルを引受基準の見直しに活用し、生命保険の加入範囲を拡大した結果、見直し後の 1 カ月間でこれまで加入が難しかった 300 名超の加入者拡大を実現した。

その後日立では、入院リスクモデルの保険業務への適用ノウハウを活かし、保険会社向け医療ビッグデータ分析ソリューション「Risk Simulator for Insurance」を開発した（図 7）。本サービスでは、生活習慣病に関するさまざまな因子をもとに将来の入院リスクに与える影響をインタラクティブにシミュレーションする機能を提供している。

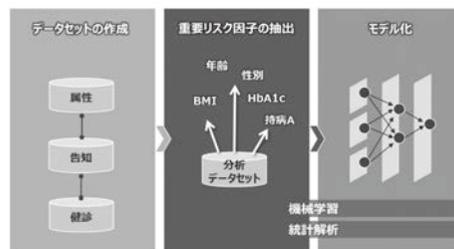


図 6 入院日数予測モデルの構築



図 7 Risk Simulator for Insurance

7. マネジメント事例

7.1 背景・課題

日立が社会イノベーション事業を推進するうえでは、次々と偶発的かつ不明瞭な問題やリスクが発生する。そのため、緻密な計画を策定するだけでなく、リスクに対して限られたリソースで最善の解決手段を判断し対応するマネジメント力が求められる。

この能力を習得するには、プロジェクトマネジメントに関する理論/方法論を学ぶだけでは備わず、実践的な感性を磨く必要がある。この感性は、実践知とよばれる高度の暗黙知であり、習得が困難な領域である。実践知を養うには、実際のプロジェクトのなかで経験を積むことが効果的であるが、経験の浅い人材を実プロジェクトへ投入するリスクは高く、また育成に多大な時間を要するという問題がある。

7.2 概要

このような背景のもと、日立はマネジメントにおける実践知の獲得手法としてプロマネ訓練ボードゲームを開発した [4]。ボードゲームは、図 8 のよ



図8 ゲームの様子

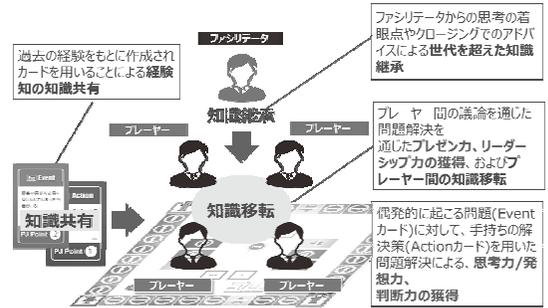


図9 ボードゲームによる実践知獲得の仕組み

うなボードとカードを用い、4人のプレーヤーが一つのプロジェクトチームを形成し、擬似的なプロジェクトを推進する。また、ファシリテータがゲーム遂行のアドバイスなどを行う。

ボードゲームは、止まったマスに応じたカードを引き、カードに応じたアクティビティを行い、プロジェクトを推進する。カードは、過去事例から人間工学や品質管理手法を用いて抽出した、Eventカード(プロジェクトで起こりうる問題)とActionカード(問題解決のヒント)の2種類がある。発生した問題(Eventカード)に対し、保有する解決策(Actionカード)の範囲内で問題解決を行う。

ボードゲームを通して、チームで仮想プロジェクトを推進するなか、「過去の経験をもとに作成されたカードを用いることによる「知識共有」「プレーヤー間の議論を通じた問題解決による「知識移転」「ファシリテータからのアドバイスによる「知識継承」という3つの仕組みが行えるよう設計している。これにより、組織として経験した事例、ベテランの頭の中にあるプロジェクト経験を通して得られる知見、他のプレーヤーの考え方を得ることができ、我々が実践知として定義している「思考力/発想力」「判断力」「プレゼンテーション力」「リーダーシップ力」を習得できると考える。実践知の取得を含めた全体像を図9に示す。

8. おわりに

本稿では、日立が推進する社会イノベーション事業における経営工学の活用事例を「モビリティ」「ライフ」「インダストリー」「エネルギー」「IT」の5

つの事業領域と、それらを効率的に推進するための「マネジメント」領域ごとに紹介した。

いずれの領域においても、管理対象のシステムが複雑化するなか、IoTデバイスをはじめとするハードウェア、通信インフラなどの急速な進歩により、収集したデータからリアルタイムにシステムの状態を分析、予測し、最適状態となるよう制御する仕組みの構築が加速している。経営工学は、まさに実践的な分析、予測、最適化をリードしている学術領域といえ、その重要性が高まっている。日立は、その技術蓄積の活用を加速し、経営の効率化とともに、社会課題、環境課題の解決に貢献していく。引き続き、経営工学分野の皆様にはご助言、ご指導をお願いしたい。

参考文献

- [1] 鮫嶋茂稔, 矢川雄一, 森田 歩: “グローバル No.1 技術の創生に向けた研究開発”, 日立評論, Vol.101, No.3, pp.73-76 (2019)
- [2] 国土交通省: 平成 29 年度乗合バス事業の収支状況について (2018)
- [3] 伴 秀行, 長谷川泰隆, 三好利昇, 大崎高伸, 藤岡宏一郎, 中川 徹, 根岸正治: “顧客協創活動による革新的な疾病予防支援”, 日立評論, Vol.97, No.9, pp.33-38 (2015)
- [4] 広瀬 優: “ボードゲームによる実践向けプロジェクトマネージャ訓練への取り組み”, プロジェクトマネジメント学会研究発表秋季大会予稿集, pp.124-1287 (2018)

お ぐら たか ひろ
小 倉 孝 裕

2005 年早稲田大学大学院理工学研究科経営システム工学専攻修士課程修了，同年，株式会社日立製作所に入社。SCM, ロジスティクス分野の研究に従事。

うち た よし のぶ
内 田 吉 宣

2001 年電気通信大学大学院電子情報学専攻修了，同年，株式会社日立製作所に入社。博士（知識科学）。知識管理やプロジェクト管理の研究に従事。

みな かわ つよし
皆 川 剛

1996 年東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了，同年，株式会社日立製作所に入社。鉄道を中心とした社会インフラシステムの研究に従事。

や の こう じん
矢 野 浩 仁

1996 年京都大学大学院工学研究科数理工学専攻修士課程修了，同年，株式会社日立製作所に入社。博士（工学）。社会インフラのモデリング技術研究に従事。

た た やす ゆき
多 田 泰 之

1981 年県立川越工業高校卒業，同年，東京電力株式会社入社。1997 年東京大学より学位（博士）を受領。2013 年，株式会社日立製作所に入社。

こん どう ひろ ふみ
近 藤 洋 史

2010 年北海道大学大学院情報科学研究科修了，同年，株式会社日立製作所に入社。医療データ分析，保険リスクシミュレーションの研究に従事。