

技術報告

原料調達業務における業務改革・DX

Business Reform and DX in Raw Material Procurement

佐々木 智之*
Tomoyuki SASAKI

小林 敬和
Hirokazu KOBAYASHI

小林 正樹
Masaki KOBAYASHI

抄 録

国内の鉄鋼生産プロセスでは鉄鉱石、石炭などの原料を海外から輸入しており、海外情勢や天候などの外部変化へ迅速に対応することが事業競争力に直結する。日本製鉄(株)では原料調達において、変化への対応力向上を図るべく各種データ連携や配船輸送最適化による業務改革・DXを推進してきた。本稿では、原料調達における業務改革・DXへの取り組みについて報告する。

Abstract

In the steel production process of Japan, raw materials such as iron ore and coal are imported from overseas. To improve business competitiveness, it is important to respond quickly to external changes such as overseas conditions and weather. Nippon Steel Corporation has been promoting DX through various data linkage and optimization of ship allocation and transportation in order to improve its ability to respond to changes in raw material procurement. In this paper, we report on DX initiatives in raw material procurement.

1. はじめに

鉄鋼生産プロセスは、鉄鉱石、石炭などの原料を海外から輸入し、自動車、造船、橋梁、家電など様々な鉄鋼製品を、高炉→転炉→連続鋳造→圧延→焼鈍→表面処理等の工程を経て作り分ける(図1)。顧客から要求される品質を満たす鉄鋼製品を安定的に製造・供給するうえでは原料調達から生産・販売までのトータルマネジメントが重要である。日本の鉄鋼業全体で消費される鉄鉱石、石炭(原料)の量は、年間数億トンにも達し、そのすべてが海外からの輸入調達品である。昨今では図2に示すように海外情勢の影響を受け原料市況が大きく変化することに加え、天候悪化などによる輸送への影響も多く発生している。こうした中、安定

的に高品質な鋼材製品供給を行ううえで、原料調達のサプライチェーンマネジメントの重要性が増している。

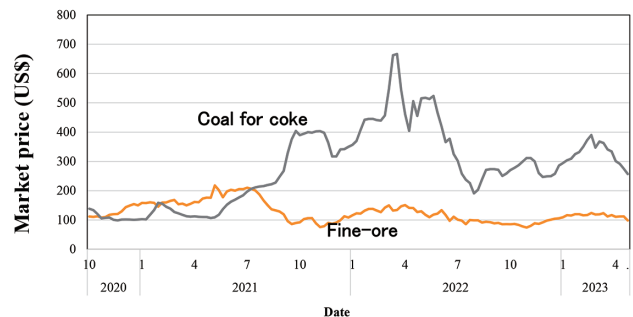


図2 原料市況の変化推移
Changes in raw material prices



図1 原料調達から鉄鋼製造・販売の流れ
Flow from raw material procurement to steel production and sales

* デジタル改革推進部 上席主幹 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

日本製鉄では変化への対応力向上を図るべくデジタル技術を活用したデータドリブン業務への変革に向けて各種データ連携や配船輸送最適化による業務改革・DXを推進してきた。以下では、原料調達における業務改革・DXへの取り組みについて紹介する。

2. 原料配船計画の効率化

2.1 原料配船業務について

日本製鉄で使用する鉄鉱石、石炭(原料)はすべてが海外からの輸入調達品である。鉄鋼生産において、石炭はコークス炉と呼ばれる巨大な釜で蒸し焼きにされコークスとなる。コークスは鉄鉱石とともに高炉に投入され、高温で溶解、化学反応させ鉄鉱石に含まれる酸化鉄がコークスにより還元されることで、炭素を4~5%含んだ鉄(銑鉄)となる。この銑鉄は様々に成分調整され、薄板、厚板、ビレットといった最終製品に加工される。莫大な量の原料、銑鉄、半製品、製品を取り扱うために、日々大量の物流が発生している²⁾。顧客からの品質要求に応え、高品質な製品の維持するために、鋼材の成分調整は必須であり、これを実現するための原料の輸送、製造工程における生産計画と物流計画の立案が、重要な役割を担っている。

これらの背景のもと、日本製鉄では、原料に関連する生産と物流を全社トータルとして適正化、高度化することを目指して、原料調達・物流最適化に取り組んできた。

取り組み対象は、本社と箇所(各所の製鉄所)に広がっている(図3)。本社の取り組み対象は、全社視点でメリットを考慮して、複数の製鉄所に対する年間計画、期計画を大枠として決定するものである。箇所では、これらの決定された計画を受けて、これら大枠の中で箇所が日々の業務を実行できるように、日々の計画を立案する構造となっている。具体的には、本社での対象は、①全社での出銑量(銑鉄の生産量)、コークス生産量を考えて原料を輸送する船

舶を確保する船腹手当計画、②購買量を勘案しながら、確保した船舶をどの積地(鉱山・炭鉱)に配船するかを決める積地配船計画、③積地で原料を積載した船舶をどの製鉄所に配船するかを決める揚地配船計画、④これら運ばれた原料と出銑量、コークス生産量を勘案しながら使用する原料の割合を決定する配合計画、が存在する。

また、本社にて決定されたこれらの配船計画と配合計画を元に、陸揚げした原料を一時的に貯留する置場である広大な原料ヤードへの配置について製鉄所各地区で計画を策定する必要がある。⑤原料の初期受入れ場所と払出し場所を決めるヤード配置計画、⑥ヤード配置計画に基づいた荷揚げする搬送設備の稼動時刻を決める受入れ計画、⑦ヤード配置計画に基づいた払出し場所(サイロ状の貯蔵槽等)への搬送設備の稼動時刻を決める払出し計画、⑧本社機能で決定された期計画、月次計画ベースの配合計画を日々の実操業に合うように調整する配合計画の作成、である。これらの対象に対して、原料需給の情報を本社と箇所で一元管理できるシステムを開発するとともに、各対象に対して最適化技術を導入してきた³⁾。

ここでは、一例として、本社での業務である原料輸送配船最適化システム⁴⁾と実際の業務への適用について説明する。

2.2 原料輸送配船最適化システム

2.2.1 業務内容

本業務は、契約済の船舶の配船情報(船型、量、現在地)、契約可能船舶情報、契約購買量、各製鉄所での原料使用情報を元に、各製鉄所の在庫を確保する制約条件を守りながら、各船舶の積揚地での配船計画を決定するものである。船舶は契約する船型、契約形態、寄港パターンにより輸送費用が異なるため、船隊構成、輸送ルートを適正化することで費用を抑えることが可能となる。

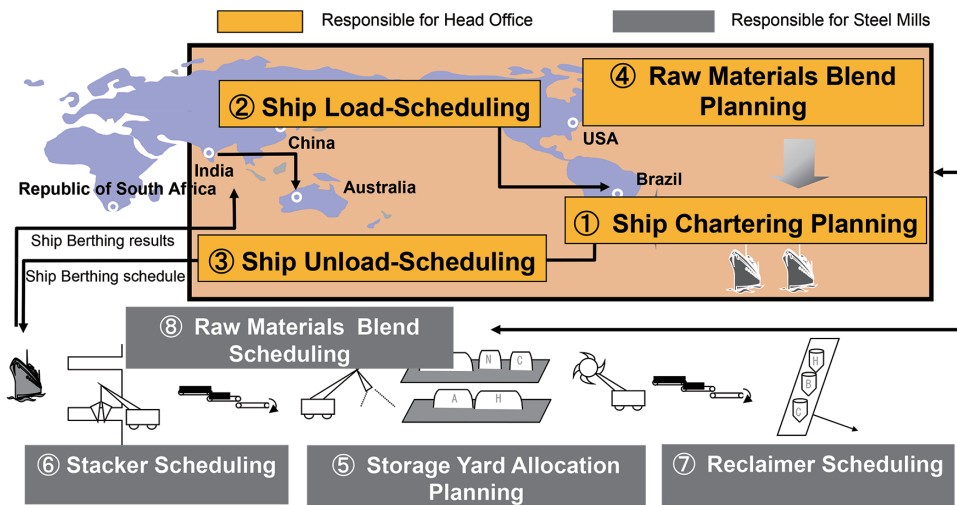


図3 原料に関連する生産・物流計画対象
Target of planning, scheduling and logistics related to raw material

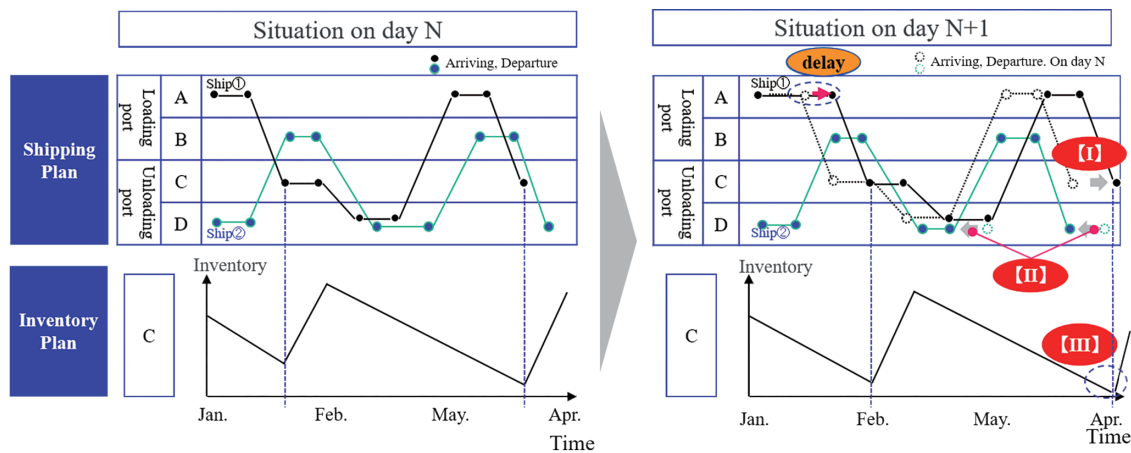


図4 配船計画変化時の影響
Effects of change in shipping plan

しかし、輸送時間が短い中国と長いブラジル等、船舶の輸送条件が混在する中で、各製鉄所の在庫切れを回避しながら、揚地バースでは1時間単位精度の船舶動静を考慮した半年先までの配船計画を適正化することは容易ではない^{5,6)}。

原料需給業務の特徴としては計画変更の影響範囲が時間および物理的距離それぞれに波及することが挙げられる。簡単な例として図4に示すような2つの積地(A港、B港)と2つの揚げ地(C所、D所)での配船計画を考える。船①が積地A港でN日の計画に対し、N+1日時点で出発予定が変化した場合、当該船①の揚げ地C所への到着が遅れるだけではなく、次のD所、さらに次の積地A港への到着タイミングが遅れてしまう(影響【I】)。またN日の計画通りに進行していた船②の揚げ地D所での予定変更が必要となる(影響【II】)。影響【I】によりC所の4月時点での在庫切れの可能性が発生する(影響【III】)。このように港数、船数が限定している事例でも1つの変化で時間、距離および各港の在庫量ともに広範囲に影響することがわかる。実際の配船計画上では港数、船舶数は増加し、それらの影響をすべて網羅し最適化する機能が配船スケジューリングには求められる。

2.2.2 スケジューリング機能の構成

長期計画の港・船数の組み合わせ要素とともに在庫量への影響を同時に考慮することは計算規模・時間の観点から課題がある。3か月間の配船計画を策定するにあたり揚げ地数を10、銘柄数を3、船数を200隻と仮定した場合は 10^{760} 通りも揚げパターンが存在し銘柄数が増加するほど、計算負荷は大きくなる。これら膨大な条件を考慮するため、長期的に大枠決定する階層と、この決定結果を固定情報として入出港タイミング等を詳細に最適化する階層に分割する計算システムを構築した(図5)。さらに各階層で立案期間を時間軸で分割し、各期間で数理計画法とシミュレータ

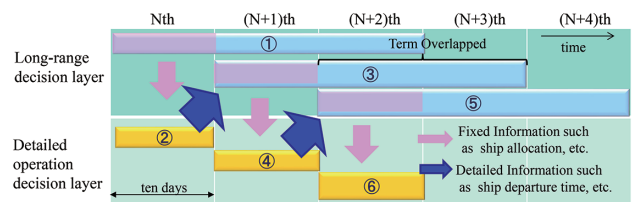


図5 階層型時間分割逐次予測型アルゴリズム概要⁴⁾
Overview of the hierarchical dividing term and moving horizon algorithm

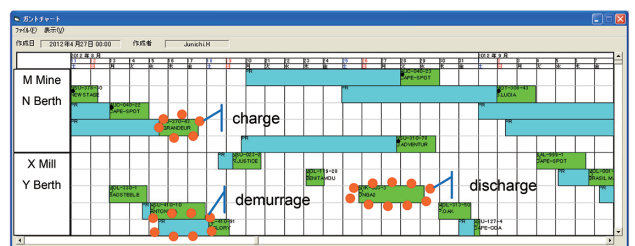


図6 立案結果のガントチャート
Example Gantt chart of a scheduling result

を連動させる階層型の時間分割を繰り返す独自開発技術により、従来、求解が不可能であった問題に対して、所定時間内に解を導くことが可能となった。

2.2.3 立案結果

立案例としてガントチャート(図6)を示す。揚地での船舶は滞船が少なく、スムーズな入港が可能となった(積地での滞船は所与条件)。また、ケーブルサイズ船以上の大型船の1港揚げ比率が増加することで、多港揚げによるエクストラチャージ減による輸送費用削減が可能となった。

2.3 業務適用

2.3.1 計画立案時の評価指標

配船計画や各種生産計画の最適化システムについてはこれまでも各種開発が進められているが、業務への適用を図る中で実配船担当の調整結果との差異が大きい等、実用化

の際に課題に直面することがある。主要因としては“計画立案時の評価パラメータが不明確”および“制約条件(与条件)が不十分”という2つが挙げられる。今回の取り組みでは、評価パラメータを明確にするため、従前の人により策定された計画を元に指標化する評価式を作成した。各項目の最良値(もしくは理想値)を評点5とし、人立案の平均値を3、実績ワースト値を0近傍と設定し指標化を行った(図7)。

各指標をスパイダーチャートへ表し(図8)、外側に行くほど良い条件ということを表すと、指標が3以上になれば当該計画が人で立案した以上の計画に到達したことが判定できる。本指標を基準に評価することで、各種制約条件(与条件)を追加や緩和などを検討していくことにより配船スケジュール最適化システムのレベルアップが期待できる。また、外部環境の変化により、制約条件のアンマッチが発生した場合にも、本指標をフォローすることで、最適化システムの健全性も評価することが可能となる。

2.3.2 業務適用への効果

評価指標の設定と各種与条件設定の追加、最適化システムの調整により計画策定業務への適用が可能となり、業務負荷は70%低減された(図9)。生産量の変化などの条件変化時にも迅速に最適な計画を立案することが可能となっ

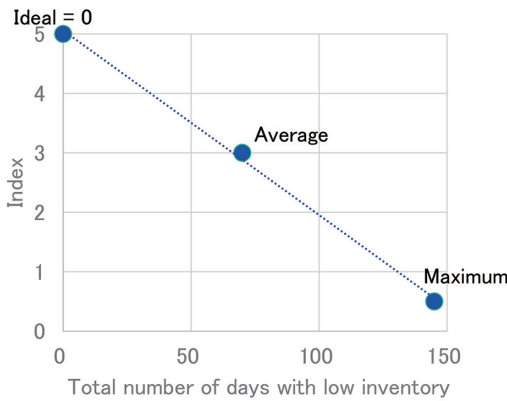


図7 指標化事例
Examples of index

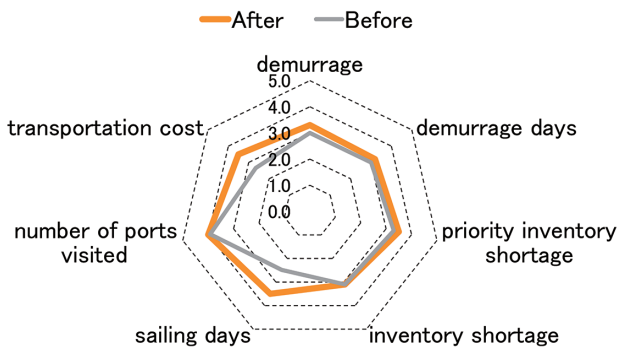


図8 スパイダーチャートによる最適化結果評価
Evaluation of optimization results by spider chart

た。

また、本システムへ生産量や入荷量などをケース分けした条件をインプットすることによりシミュレーションも可能となったため、計画変化時の影響度把握へ活用することができる。

最適化システムの業務への適用ならびにシミュレーション機能の活用により、従来の10%ほど原料輸送の効率化へ寄与することができた。

3. 船会社情報との連携による情報更新頻度の向上

日本製鉄では、鉄鉱石や石炭などの原料を海上輸送する際の配船管理において、リアルタイムに運航情報取得を可能にするシステムを構築し、2023年5月より運用を開始した。輸入原料船の運航管理において、これまで、天候影響などによって、航海日数や停泊日数が変動し、結果的に運航計画の適宜見直しが必要であった。輸入原料船の最新の運航情報を把握し、日本製鉄の需給管理システムと連携することで、最新の航海スケジュールや原料在庫見通しに基づく意思決定迅速化を図ることができる。

システム構築にあたり、(株)商船三井の海上輸送に関する情報提供プラットフォーム“Lighthouse”とシステム間連携をしている(図10)。日本製鉄向けの輸入鉄鉱石・石炭船の運航を行う海運会社のデータ管理ができるシステム構成としており、“Lighthouse”上では運航状況をリアルタイムに確認することが可能である(図11)。

今回のデータは配船計画最適化システムへもデータ連携

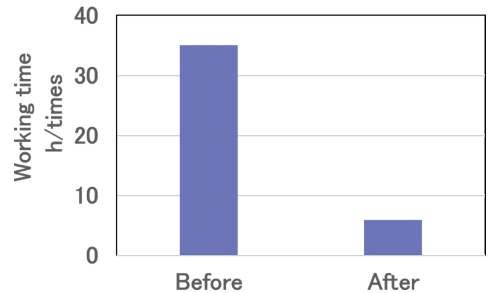


図9 計画策定業務時間の変化
Changes in planning work hours

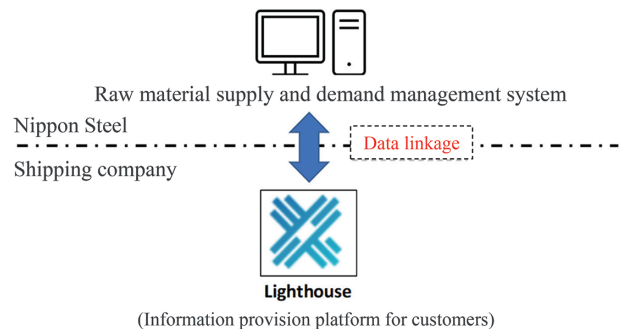


図10 システム連携イメージ
Image of system linkage

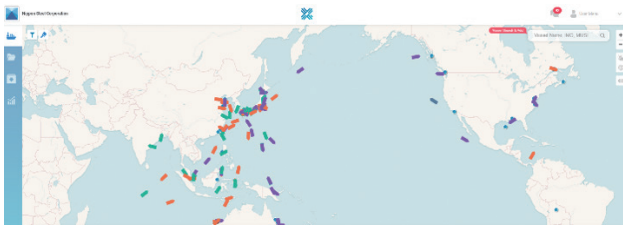


図 11 Lighthouse 上での船舶動静確認
Vessel movement confirmation on Lighthouse

が可能であり、船舶の運航計画が変更した場合でも最適な計画立案をする体制を構築することができた。

4. 指標の可視化による意思決定の迅速化

前述した通り、鉄鋼製品の製造・出荷においては原料調達～製造～販売と各部門の連携が必要不可欠である。生産計画の数量および製造時にかかるコスト等についても各部門間のデータ連携が重要であり、特に原料市況の変化が大きい場合にはコスト指標への影響度評価を迅速に把握し、適切なアクションを実行する必要がある(図 12)。

原料市況の指標の変化を把握したとしても、サプライヤーごとの契約内容や日本製鉄における生産状況、各種実績などを総合的に連関させて評価指標を立案するためには膨大な人的リソース、業務負荷時間が必要となる。一方、データテーブル、データファイルの整理、業務ルーティンのルール化を実施することで、当該作業を RPA (Robotic Process Automation) および VBA (Visual Basic for Applications) マクロでの簡易的なシステム構築により、評価 KPI (Key Performance Indicator) を迅速に発信するワークフローを実現した(図 13)。

当該システム構築により、集計業務負荷が 9 割削減されたためデータ発信頻度は約 8 倍となった。これまでの人手による集計業務から脱却し、評価 KPI を確認したうえで、課題抽出や対策を実行するなどのより付加価値の高い業務へとシフトすることが可能となった。本取り組みはデジタル技術活用の期待効果の 1 つであるエンパワーメント、作業時間の価値を高めることを達成した事例だといえる。

今回のデータ連携システムの中での評価 KPI の一例として、製造コスト指数の予測推移を示す(図 14)。あるベース値に対して、原料市況の変化分を考慮することで向こう半年間の原料市況影響の見込みを想定することが可能となった。原料市況が日々変化する場合、同様なルールで集計し発信される評価 KPI を頻度よく見ていくことで、潮流の変化などを早期に捉えることが可能となる。当該指標を原料調達部門だけでなく、営業、技術含めた全部門で共有している。各部門が同一の指標で議論し、対策検討を進めていくことがデータドリブン業務の重要な視点である。評価 KPI を最大活用し事業競争力の向上へつなげていく。

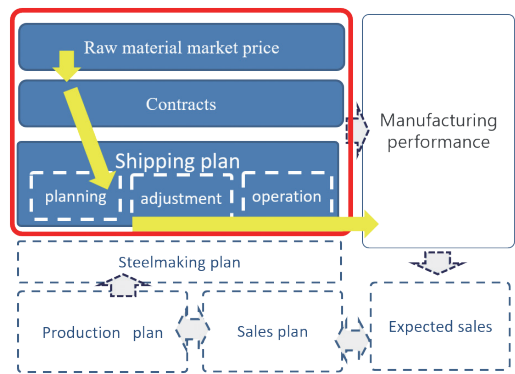


図 12 各部門でのデータ連携概略
Overview of data linkage in each department

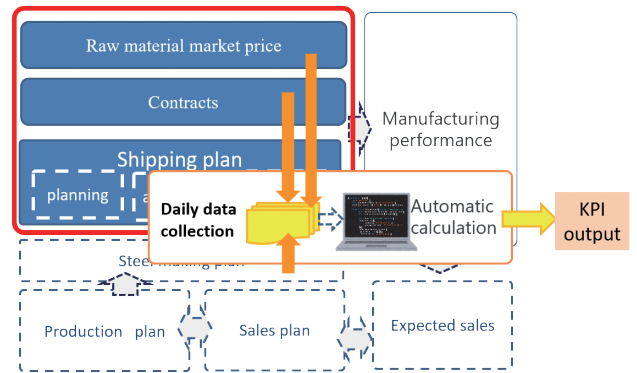


図 13 データ連携と評価 KPI 出力迅速化概要
Overview of data linkage and rapid output of evaluation KPIs

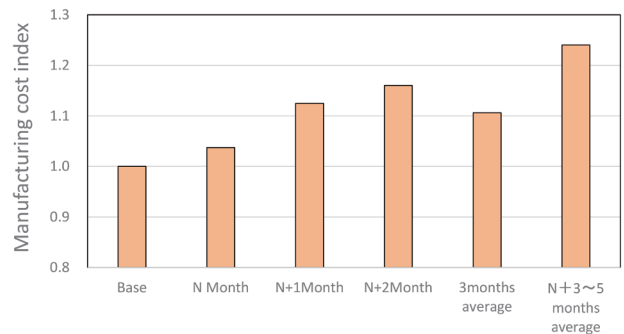


図 14 製造コスト指数の予測推移
Forecast transition of manufacturing cost index

5. おわりに

以上、原料調達における業務改革・DX への取り組みについて述べた。社内、社外にある貴重なデータ資産を高頻度に連携し、迅速に可視化・最適化を図ることで変化への対応力向上を図るべく、業務改革・DX を実行している。今後も DX を推進し、サプライチェーンマネジメントの効率化をさらに進めていく。

参考文献

- 1) 新日本製鉄(株)：鉄と鉄鋼がわかる本、日本実業出版社、

2004

- 2) 岩谷：製鉄所における入出荷計画問題と最適化技術. オペレーションズ・リサーチ. 51 (3), 143-148 (2006)
- 3) 小林, 屋地, 斉藤, 鈴木：鉄鋼原材料配合計画の最適化. オペレーションズ・リサーチ. 56 (11), 633-639 (2011)
- 4) 小林敬和, 鈴木豊, 佐野拓也, 潮田泰宏, 金澤典一, 屋地靖人：原料輸送配船最適化システム. 材料とプロセス. 25 (2), 1029 (2012)
- 5) Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D.: Ship Routing and Scheduling in a New Millennium. European Journal of Operational Research. 228, 467-483 (2013)
- 6) Kobayashi, K., Kubo, M.: Optimization of Oil Tanker Schedules by Decomposition, Column Generation, and Time-space Network Techniques. Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics. 27 (1), 161-173 (June 2010)



佐々木智之 Tomoyuki SASAKI
デジタル改革推進部 上席主幹
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



小林正樹 Masaki KOBAYASHI
原料第一部 原料総括室 主幹



小林敬和 Hirokazu KOBAYASHI
プロセス研究所
インテリジェントアルゴリズム研究センター
生産マネジメント研究室 研究第一課長
博士(システム情報学)