

JFE スチール 東日本製鉄所湾内船配船計画システムの開発

Delivery Scheduling System for Barge Transport in Tokyo Bay

吉成 有介 YOSHINARI Yusuke JFE スチール スチール研究所 計測制御研究部 主任研究員(課長)
岸田 高輝 KISHIDA Takateru JFE スチール 東日本製鉄所 工務部生産管理技術室 主任部員(課長)

要旨

JFE スチール 東日本製鉄所の製品配送では、トラック、湾内船による国内のお客様に対しての直接納入が約半数を占めている。これら直接納入品の配送効率化を図ることは、お客様へのデリバリーサービスを迅速、柔軟かつ的確に行なうことに直結する。JFE スチールでは、東日本製鉄所の物流3拠点(千葉、京浜地区、東京物流センター)のトラックによる製品配送業務を統合した製品配車システムを開発した。本稿では、製品配車システムの枠組みを湾内船配船業務に拡張し、スケジューリング技術を適用することによって、船の航海ルートを最適化する、湾内船配船システムについて報告する。

Abstract:

An integrated delivery scheduling system for trucking has already been developed and in practical use. The scheduling system has been extended to marine transport in Tokyo Bay for more efficient product transfer. The marine transport scheduling was formulated as an optimization problem to obtain the most efficient routing and assignment of barges. The optimization problem was solved by using Mixed Integer Linear Problems (MILP).

1. はじめに

JFE スチール 東日本製鉄所の製品配送では、国内のお客様へ製品を直接納入する、直納比率が約半数を占めている。製品配送には主にトラックが用いられており、トラックによる配送の効率化を目的に、JFE スチールでは東日本製鉄所の物流3拠点(千葉、京浜地区、東京物流センター)の製品配送業務を統合した、製品配車システムを開発した^{1,2)}。

一方、東日本製鉄所の立地上の特徴から、東京湾沿いのお客様に対してはトラックと並行して湾内船、船による製品配送も行なわれている。

今回、既開発のトラック製品配車システムと同様に、物流3拠点での湾内船配船業務を統合し、船の航海ルートを最適化する湾内船配船システムを開発した³⁾。以上により、陸運と湾内海運が統合され、お客様に対する製品デリバリーサービスをさらに迅速、柔軟かつ的確に行なうことが可能になった。

2. 東日本製鉄所の製品配送

2.1 製品配送概要

東日本製鉄所の製品配送の概要を図1に、表1に配送量、トラック、船、湾内船などの配送機器の台数、配送拠点数、配送するお客様数を示す。

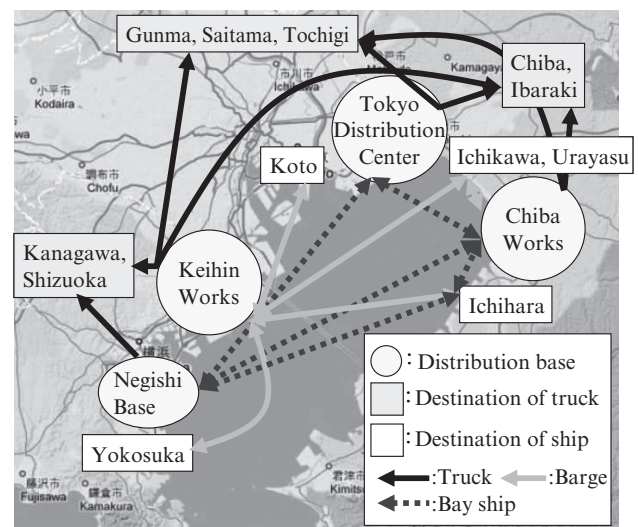


図1 JFE スチール 東日本製鉄所の製品配送概要

Fig. 1 Overview of product delivery in JFE Steel East Japan Works

表1 JFE スチール 東日本製鉄所の製品配送規模

Table 1 Scale of delivery in JFE Steel East Japan Works

	Truck	Barge	Bay ship
Product (×1 000 tons/month)	250	60	30
Truck, Barge, Ship	300	20	1
Distribution base	5	5	4
Customer	150	40	4

2014年8月27日受付

主な3ヶ所の物流拠点のうち、千葉、京浜地区からはそれぞれの地区で生産された製品を、東京物流センターからは西日本製鉄所から内航船によって運ばれた製品をお客様に向けて配送する。

2.2 製品配送業務の統合

従来の製品配送業務では、各物流拠点での配送材源、配送手段であるトラックなどを個別に管理しており、配送計画の多くが手作業により作成されていた。このため、各物流拠点個別での配送計画作成と実行管理であったため、帰路の積荷の確保が難しく、物流拠点とお客様の間を単純に往復するケースが多発し、空車・空船での回送、長大な待ち時間が発生していた。

また、多くの物流拠点では手作業による計画作成であったため、計画作成までに長時間を要し、急な計画変更が発生した時などに、計画立案者に高い負荷がかかっていた。

以上の問題に対して、各物流拠点での配送業務の統合と配送材源、配送手段の情報を統合管理するデータベースを構築し、以上の基盤と最適化技術の活用により、複数の物流拠点とお客様を結ぶルートを選択できる仕組みを開発した(図2)。

先行して2009年より、トラックによる製品配車システムが稼働しており、迅速、柔軟かつ的確な陸送によるお客様へのデリバリーサービスに寄与し続けている。

今回、構築された配送材源、配送手段の情報を統合管理するデータベースを活用して、湾内船配業務を統合し、

湾内船配計画の作成に最適化技術を適用することで、船の航海ルートを最適化する湾内船配システムを開発した。

3. 湾内船配システム

3.1 船配計画問題概要

トラックによる配車計画、船や船舶による配船計画ともに、トラック・船に載せる積荷と配送ルートを作成する問題である。しかし、表2に示すように船配計画では、航海中の船を含めて10日先のまでの計画を日々ローリングしながら作成する、物流拠点での積荷役開始から配送先での積荷の揚荷役終了まで数日要する必要がある、船籍による航海ルート制約、船の種類によって船速が異なるなど、トラック配車計画問題の単純な拡張では対応できず、新たなモデル化と解法アルゴリズムが必要となる。

配船計画はスケジューリング問題の重要な分野の1つであり、メタ解法を含んだフレームワークである階層的積木法⁴⁾と、大規模数値計画に対するアプローチである列生成法⁵⁾を融合した研究⁶⁾などが報告されている。

3.2 船配問題のモデル化

船配計画問題を最適化問題として定式化するためのモデル化に関して以下に述べる。

船が配送する積荷はあらかじめ薄板、厚板、鋼管などの品種単位でロット集約されており、品種、寸法、重量、積地、揚地、積荷役開始時刻、積荷役時間、揚荷役開始時刻、揚荷役時間が与えられているものとする。

ここで、積荷の「積地での荷役開始から揚地での荷役終了までの作業」をJobと定義すると、1つの積荷は1つ以上のJobで構成される。

また、なるべく少ない船で効率的な航海を行なうためには、配送先である揚地での揚荷役終了後、次回の配送の積荷を確保出来る積地の選択の仕方が重要となる。

以上の考え方を単純に模式化すると図3に示すようになる。図3では各積地でのJobの集合と利用可能な船の集合が示されている。

図3においてJob 1に注目する。Job 1の次に実行できるJobは各積地でのJob開始時刻に間に合うJob 2からJob 6

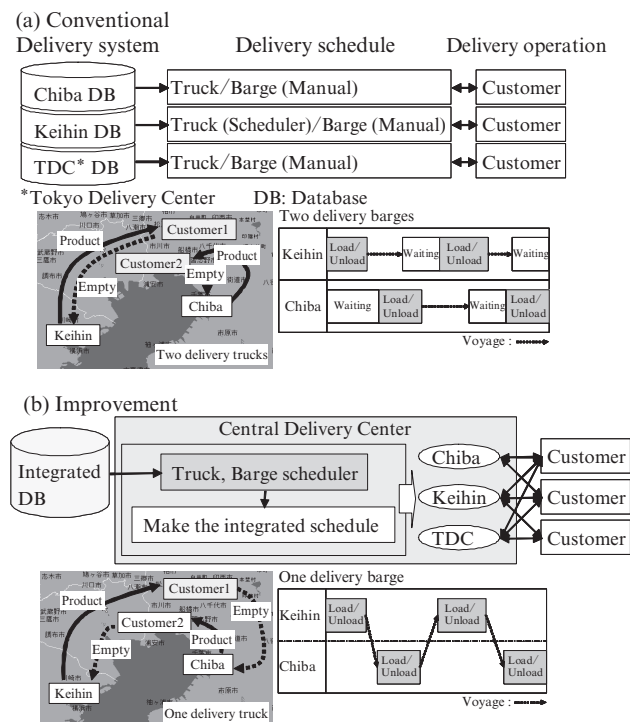


図2 製品配送業務の統合

Fig. 2 Integrated delivery operation

表2 湾内船配計画とトラック配車計画の比較

Table 2 Compare with barge scheduler and truck scheduler

	Barge scheduler	Truck scheduler
Schedule period	10 days	1 day
Delivery time	1 to several days	Several hours
Registry constraints	Yse	No
Speed pattern	Several	1

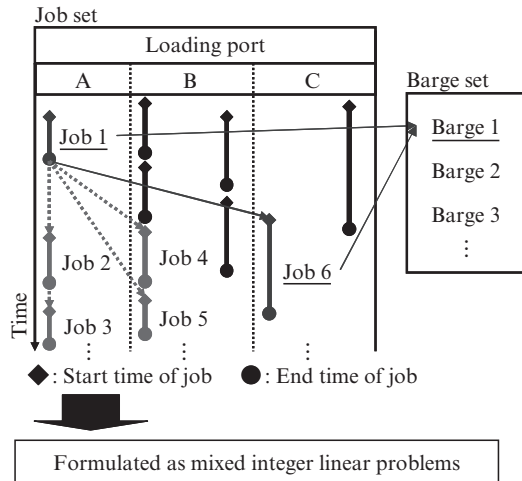


図3 解配船計画問題のモデル化
Fig. 3 Modeling of barge scheduler

までの Job となり、この中から 1 つを次に実行する Job として選択する（図の例では Job 6 を選択）。かつ、Job 1 と Job 6 は同一の解で配送されなければならないため、Job 1 と Job 6 を配送出来る解を選択する（図の例では Barge 1 を選択）。

以上のモデルに対して、次に実行できる Job、Job を実行する解などに関する制約条件と利用解台数最小化などの目的関数を与えることによって、解配船計画問題は「列挙された各 Job に対して最適な次 Job の選択と対応する最適な解を求める」組合せ最適化問題として定式化できる。モデル化された問題を混合整数線形計画問題（MILP：Mixed integer linear problems）として定式化した。

3.3 湾内解配船エンジン

湾内解配船エンジンは MILP に定式化された問題を汎用ソルバを用いて解くものとして開発した。湾内解配船エンジンは図 4 に示す手順で実行される。以下、各手順に関して

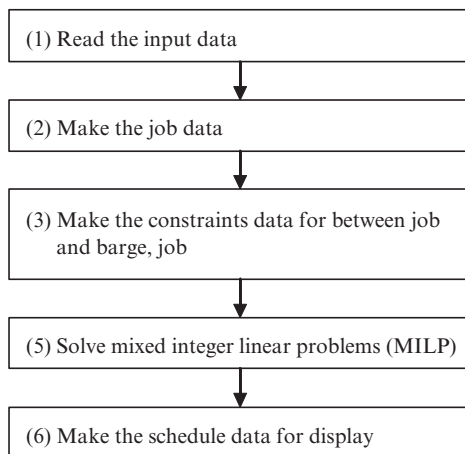


図4 解配船エンジン実行手順
Fig. 4 Algorithm of barge scheduler

述べる。

(1) 入力データ読み込み

以下のデータを入力として読み込む。

- ・積荷データ：品種単位でロットかされた配送中の積荷を含む、寸法、重量、積地、揚地、積荷役開始時刻、荷役開始時刻に関するデータである。
- ・解データ：最大積載重量と品種、荷室寸法、寄港不可積/揚地、船速等の解諸元、定期検査等の休船期間、配送中の積荷との紐付けデータである。
- ・積地、揚地データ：それぞれの積地、揚地についての名称、積揚荷役時間データである。
- ・距離データ：積地と揚地間の距離データである。

(2) Job データ作成

読み込まれた入力データよりそれぞれの積荷に対する Job データを作成する。

(3) 制約条件データ作成

入力データと作成された Job データより、次に実行可能な Job の組合せ、実行可能な Job と利用可能な解の組合せデータを作成する。

(4) 汎用ソルバ実行

入力データ、作成された制約条件データと定義された目的関数に基づいて最適化問題を解き、最適な航海ルートと対応する解の組合せを求める。

(5) 配船計画データ作成

求められた最適な航海ルートと対応する解の組合せデータより、画面表示のためのデータを作成する。

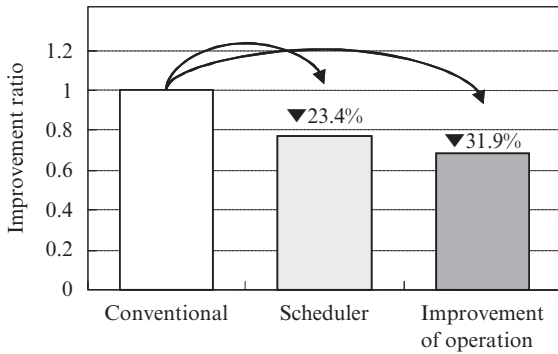
4. シミュレーションによる効果検証

実績の配船結果データを用いて、開発した湾内解配船エンジンによる効果検証シミュレーションを行なった。シミュレーションの結果例を図 5 に示す。図 5 において、(a) は各解の待ち時間の平均、(b) は各解の積載率の平均に関して、現状からの改善率を示している。

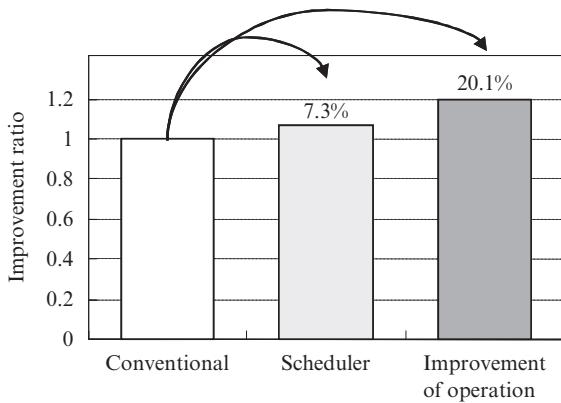
実績の配船結果データでは、現状の解配船に対して、開発した解配船エンジンを適用して結果では、現状の配船結果に対して待ち時間を 23.4%削減、積載率を 7.3%向上させることができた。

また、配送ロット作成方法の見直し、グループ会社向け配送材源の湾内船へのシフトなど、解の運転方案の見直しを同時に行なう条件の下でシミュレーションを行なった結果、現状の配船結果に対して待ち時間削減 31.9%、積載重量向上 20.1%までの改善が可能なることを確認できた。

以上を踏まえ湾内解配船エンジンは図 6 に示す統合配送システムにインストールされ、湾内解配船システムとして実機工程化された。



(a) Improvement of idling time



(b) Improvement of loading weight

図5 シミュレーション結果

Fig. 5 Simulation results

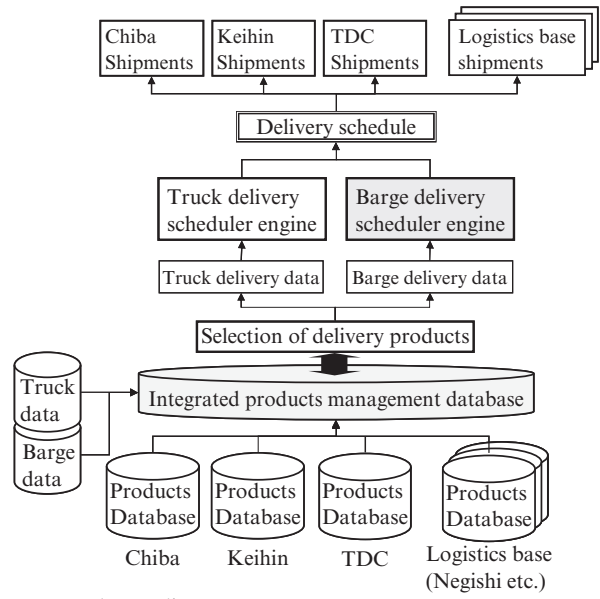
5. おわりに

今回、既開発のトラック製品配車システムと同様に、物流3拠点での湾内船配業務を統合し、船の航海ルートを最適化する湾内船配エンジンを開発し、湾内船配システムに適用した。

本システムは2011年より稼動しており、日々の湾内船配船計画業務に活用されている。本システムと既開発のトラック製品配車システムにより、陸運と湾内海運が統合され、お客様に対する製品デリバリーサービスがさらに迅速、柔軟かつ的確に行なうことが可能になった。

参考文献

- 1) 吉成有介, 岸田高輝. 東日本製鉄所薄板一元配車システム. CAMP-ISIJ. 2010, vol. 23, p. 1048.



TDC: Tokyo Delivery Center

図6 統合配送システム

Fig. 6 Integrated delivery system

- 2) 山口収, 吉成有介, 富山伸司. 生産計画・物流計画への最適化およびシミュレーション技術の応用. JFE 技報. 2011, no. 28, p. 23-28.
- 3) 吉成有介, 岸田高輝. 湾内船配システム. CAMP-ISIJ. 2012, vol. 26, p. 135.
- 4) 久保幹雄, 宮本裕一郎. メタ解法の新しいフレームワーク—階層的積木法を中心として—. 電気学会論文誌. 2001, vol. 121-C, no. 6, p. 976-981.
- 5) 小林和博, 久保幹雄, 加納敏幸. 内航ケミカルタンカーに対する船配計画問題. 2007年日本船舶海洋工学会秋季講演会. p. 7-8
- 6) 久保幹雄, 小林和博. 階層的積木法と列生成法の融合—輸送・船舶スケジューリングを例として—. 計測と制御. 2008, vol. 47, no. 6, p. 519-524.



吉成 有介



岸田 高輝