

JFE スチールにおける販売・生産・物流一貫管理技術の歴史と展開

History of Integrated Management System of Sales, Production, and Logistics in JFE Steel

瓜生 順 URYU Jun JFE スチール 西日本製鉄所 工程部長 (理事)
上田 貴弘 UEDA Takahiro JFE スチール 西日本製鉄所 工務部 生産管理技術室長 (副部長)
小柳 貴幸 KOYANAGI Takayuki JFE スチール 西日本製鉄所 工務部 生産管理技術室 主任部員 (課長)

要旨

2010 年以降における鉄鋼の販売・生産・物流は、かねてより取り組んできた、良い品質のものを必要な時に必要な量をお客様のもとへお届けするための「お客様主導型」生産を志向した展開に加え、生産年齢人口の減少、SDGs・ESG への関心の高まり、市況変化に伴う出荷量変動を様々な視点で吸収していくこと等、今までになかった課題に対応することが必要となってきた。これらの課題を解決するべく現在も様々な研究開発を進めている。本稿では、その中で、前述した課題の一例である人的資源減少への対応、環境負荷低減およびデジタルトランスフォーメーション (DX) を活用した出荷能力柔軟性向上に対する取り組みを紹介する。

Abstract:

Since 2010, steel sales, production, and logistics have been oriented towards "customer-driven" production in order to deliver high-quality products to customers when they need them with the quantity they need. In addition, it is necessary to respond to unprecedented issues such as the declining working-age population, the growing interest in SDGs and ESG, and the absorption of fluctuations in shipment volume due to changes in market conditions from various perspectives. JFE Steel is currently conducting research and development to solve these problems. In this report, our efforts to address the above-mentioned problems are presented in the area dealing with the decrease in human resources, reducing the environmental load, and improving the flexibility of shipping capabilities by DX.

1. はじめに

1980 年代から 2010 年までの約 30 年間は、お客様主導の時代に対応するために、販売・生産・物流間での連携のもと不要な在庫や物流コストの削減に取り組んできた。従来からの「メーカー主導型」、すなわち高い品質のものを生産することに主眼を置いた製造・出荷形態ではなく、「お客様主導型」、すなわち良い品質であることはもとより、必要な時に必要な量をお客様のもとにお届けする製造・出荷形態を達成するためには、系全体の一貫管理と全体最適化を志向しつつ、販売・生産・物流に等しく価値を置き、三者の連携を強化する活動が必要であった。それらの活動の結果、1980 年からの 30 年間でリードタイムを 75%削減するという大きな効果が得られた¹⁾。

一方、日本の鉄鋼業が、物流について取り組んでいかなければならない課題は依然として多い。まず 1 つは生産年齢人口減少に対応するための労働生産性の向上であり、こ

れに対しては近年の認識技術、通信技術の向上を背景として、実用化が進んでいる各搬送機器の「自動化」がポイントとなる。また SDGs・ESG への関心の高まりに応えるカーボンニュートラル等の環境負荷軽減があり、産官学で取り組みを加速している水素燃料・アンモニア燃料を利用した船舶の開発や Ro-Ro に加えフェリーを活用したモーダルシフトの推進等がポイントとなる。さらに COVID-19 の出現や社会情勢の激しい変化により生産環境は目まぐるしく変化しており、それに対し柔軟性のあるコストおよび出荷量への対応が重要になってきていることから、デジタルトランスフォーメーション (DX) 技術を活用した取り組みを実施している。

以下、それらの取り組み事例および成果の概要を紹介していく。

2. 労働生産性向上の取り組み

2.1 生産年齢人口の推移と労働生産性

図 1 に 1950 年から 2060 年までの生産年齢人口 (15 歳～

2022 年 10 月 3 日受付

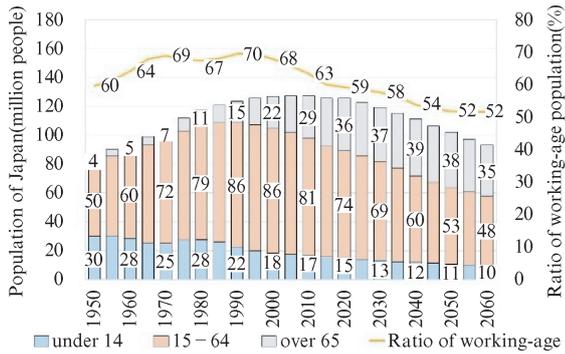


図1 生産年齢人口の推移

Fig. 1 Changes in ratio of working-age population

64歳)の推移と予測を示す²⁾。日本では急速に少子高齢化が進行し、生産年齢人口は1995年、総人口は2008年をピークにそれぞれ減少に転じている。総務省による国勢調査および国立社会保障・人口問題研究所の将来推計(出生中位・死亡中位推計)によると、2015年における生産年齢人口は7629万人であり、2030年には6875万人、2060年には4793万人と対2015年比で37%減になることが見込まれている。さらにZ世代に代表される若者の働くことへの意識の変化から、給与面よりも働く意義が優先され、3交替離れなどで物流業界の労働者不足に拍車がかかる懸念があり、足元の大きな課題として「労働生産性の改善」に取り組んでいかねばならない。

製鉄所内における物流業務を大きく3つに区分すると、搬送業務、倉庫業務、出荷業務に分けられる。搬送業務とは

工場で製造した製品を倉庫へ、あるいは倉庫に保管された製品を出荷岸壁へ運搬する業務であり、専用特殊大型搬送車両を使用することで効率化を図っている。倉庫業務とは製造プロセスの製造チャンスとお客様要望の出荷タイミングの差を吸収するための一時保管業務で、入庫と出庫を効率的に実施することで製造ロスおよび出荷ロスを防止している。出荷業務とはお客様にお届けするために所定の輸送手段に製品を荷役する業務である。主となる輸送手段は船舶であるがその適用範囲は広く、いわゆる199船と言われる国内の700トン程度の内航船から大きなものでは3万トンの輸出の大型船があり、それぞれ積み方には多くのノウハウがある。

その中でも鉄鋼製品は数十トンになるものも多く、物流には大型の車両およびクレーンが欠かせないため、基本的にはそれらを運転する習熟した運転手が1台につき1人以上搭乗する。また、検品や吊具の掛け替え、荷崩れ防止のための養生等、製品に直接サービスすることも必要で、製品自体の周囲に配置される多くの人員を必要とする。この業務も大型重機の運転と同じく、習熟が必要な人に頼った業務であり、人員の削減を困難にしている。

2.2 大型重機の自動化技術向上への取り組み

そこで、近年急速に発展してきた「認識技術」「位置特定技術」「通信技術」を活用した、一般車両でも開発の進んでいる自動運転技術を製鉄所の物流に使用される特殊大型車両にも適用する試みを進めている。図2に自動運転のレベルを示す³⁾。レベル1およびレベル2に示すような運転支援

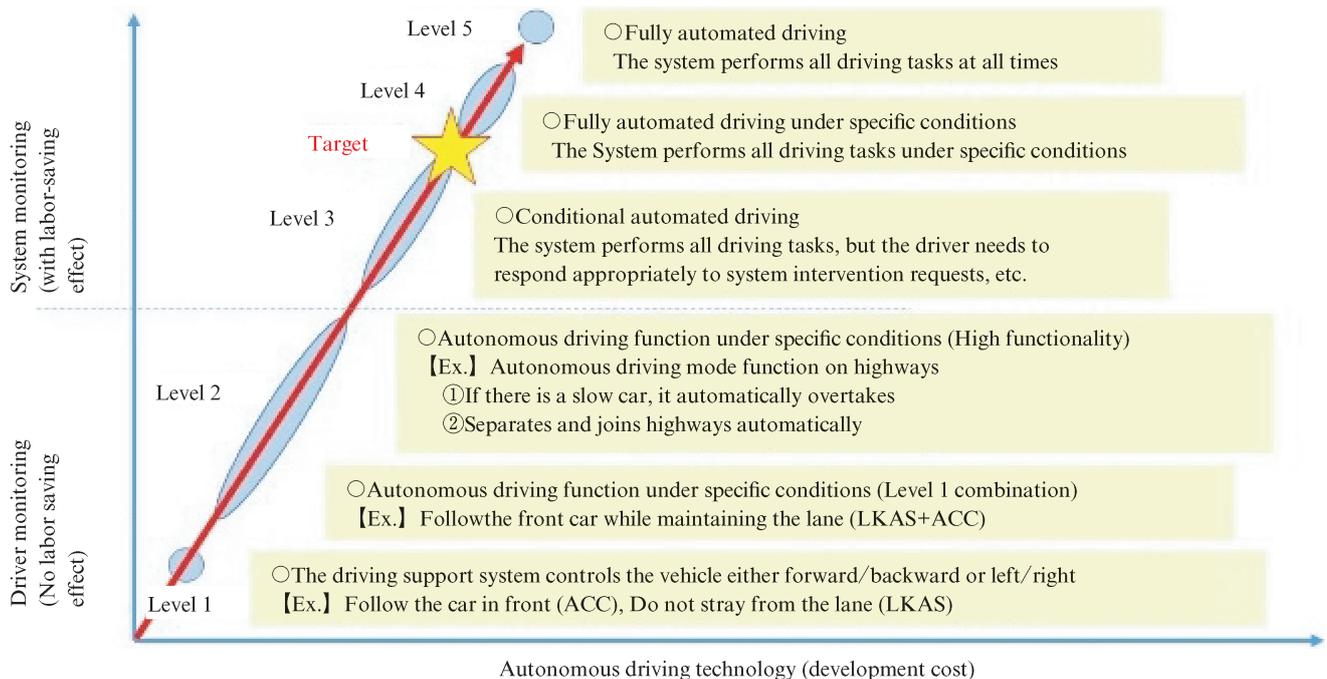


図2 自動運転のレベル

Fig. 2 Level of automated driving

型の技術は現在でも多くの一般車両に導入されており、事故の軽減や運転負荷の低減に寄与はしているものの、人手不足の解消には現在開発中のレベル3以上の達成が不可欠である。ただし様々な交通要素（通過する車両・人・法規）および不確定要素の多い一般道とは異なり、製鉄所内の通行は比較的通行経路が限定的であり、製鉄所内は私有地でもあるという利点を生かし他交通側に制限を設けることも可能であるため、それらの特性と現状開発されつつある技術を統合して限定的経路での無人運転化に取り組んでいる。経済合理性を加味すると目標はレベル3とレベル4の間となると考えている。

また、出荷業務における自動運転化の課題はクレーンの精密な制御である。岸壁から船内に数十トンの製品を荷役する場合、加速度をかけられた製品は風の影響や搬送するクレーンアームの軌道（クレーン本体同心円状に搬送することも多い）による影響を受け、大きく荷ぶれることがほとんどである。クレーンの運転手はその動きを感覚的に判断し、逆向きの加速度を製品に加えることで製品の挙動を安定させ、目的の場所に積みつける。数mの製品を数十mmの精度で落とし込むときもあり、製品挙動の予測技術および振れを制御する制御技術ならびに達成するための精密な動きをクレーンに実行させるための機械技術を組み合わせ、岸壁クレーンの自動化に取り組んでいる。

一方、自動化技術が確立し拡大が進んでいるのがコイル保管倉庫の自動化である。図3にJFE スチール内のコイル用製品保管倉庫の自動化比率を示す。2017年から2022年まで千葉地区・福山地区・倉敷地区において合計11棟の倉庫クレーンを自動化しており、今後も順次倉庫自動化を計画している。倉庫クレーンの自動化に関しては本号で詳細に報告する⁴⁾。

2.3 自動化技術の課題

前述のとおり自動化技術の向上に対する取り組みは大きく進んでいるものの、対象製品はおおむね製品形状がコイルである薄板製品である。鋼材製品（形鋼、線材、厚板等）

はその形状のばらつきによりクレーン等の行動の一般化が難しく、出荷ロットが小さく合理化の経済効果が得られないこともあって自動化がほとんど進んでいない。現時点ではワイヤスリングをリフティブマグネットに変更すること等の吊具の改善やガイダンス機能の自動化による部分的省力を進めているが⁵⁾、今後は薄板製品倉庫のような倉庫内完全自動化を進めていく必要がある。

2.4 労働生産性目標

一例として福山地区における2018年の労働生産性を1.0とした場合の目標を図4に示す。労働生産性とは1時間の労働により出荷できる鉄鋼製品の出荷量で定義される量であり、倉庫自動化の展開を中心とした設備投資により2024年には従来の24%増、2030年には41%増の達成を目指して活動を進めていく。

3. SDGs・ESG に対する取り組み

JFE スチールは高炉法を中心に鉄源を製造しており、石炭を還元剤として使用している。現在の技術では他への代替が困難であるため二酸化炭素の排出をなくすことはできないが、持続的な事業運営には環境負荷の低減が不可避であり、SDGs・ESGへの取り組みは持続的な企業価値向上に不可欠な経営の根幹をなすものと位置づけている⁶⁾。JFEグループ環境ビジョン2050の中では、気候変動問題は事業継続の観点から極めて重要な経営課題の一つであり、また異常気象の顕在化など地球規模での気候変動問題への対応が急務であるため、2020年を気候変動対応推進の節目の年と位置づけ、CO₂削減活動を中期経営計画の最重要課題に掲げて推進し、2050年にカーボンニュートラルの実現を目指すとしている⁷⁾。具体的な目標としては、鉄鋼事業における2024年度末の二酸化炭素排出量を2013年度（二酸化炭素排出量＝5810万t/年）比で18%削減、2050年にはエンジニアリング事業の二酸化炭素削減貢献効果も含めカーボンニュートラルを目指すとしている。

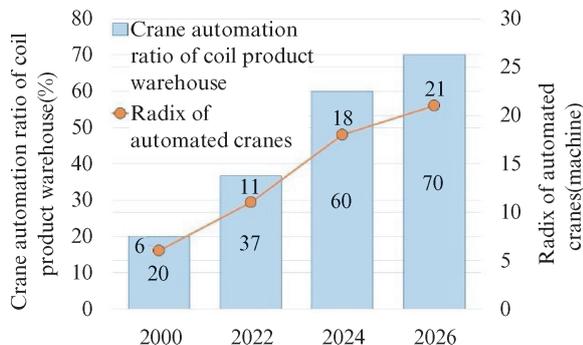


図3 薄板製品倉庫のクレーン自動化比率推移

Fig. 3 Transition of crane automation ratio in sheet products warehouse

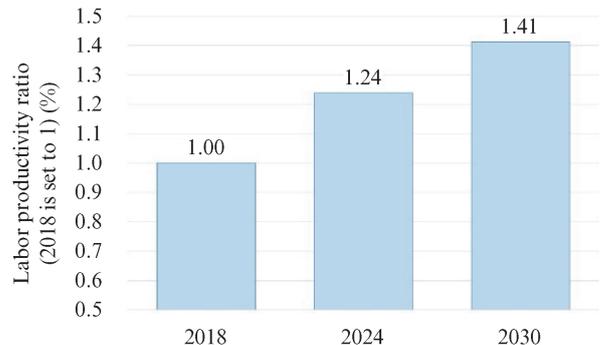


図4 福山地区における労働生産性の目標

Fig. 4 Target of labor productivity ratio in the Fukuyama district



写真1 全天候型（雨天荷役）出荷バース

Photo 1 All-weather type (rainy weather cargo handling) shipping berth



写真2 移載機で船内にパレットを積付する特殊船

Photo 2 Special ship which can stow cargo pallets in the ship hold by using a mobile loading machine

製品の物流による二酸化炭素排出量は約45万t/年であり、排出は燃料の使用によるため、様々な観点からの二酸化炭素の排出抑制に取り組む必要がある。取り組みの一つとして「アンモニア燃料船舶の実用化」が挙げられる。アンモニアは二酸化炭素を排出しない次世代の燃料として注目されており、アンモニアを燃料とする船舶の開発が進められている⁸⁾。また、JFE スチールはゼロ・エミッション燃料として注目されているアンモニアの船舶用燃料利用を目指し、共通課題を共同検討することを目的とした協議会に参画している⁹⁾。

一方で、「モーダルシフト」もカーボンニュートラルの有効な手段として挙げられる。モーダルシフトとはトラックによる貨物輸送を、環境負荷が小さく大量輸送が可能な海運または鉄道に変更することである。JFE スチールでは1990年台以降「全天候型（雨天荷役）出荷バース」の導入（写真1）やRO-RO型船舶の導入（写真2、写真3）によるモーダルシフト促進に取り組んでおり¹⁰⁾、現時点で、輸送距離が500 km以上の鋼材輸送のモーダルシフト率は94%以上となっている。近年、一般の船舶であるフェリーを活用した、新たなモーダルシフトを進める取り組みも実施しており、その一例を本号で別途報告する¹¹⁾。



写真3 特殊車両で船内にパレットを積付する特殊船の荷役

Photo 3 Loading operation for a special ship which can stow cargo pallets in the ship hold by using a special vehicle

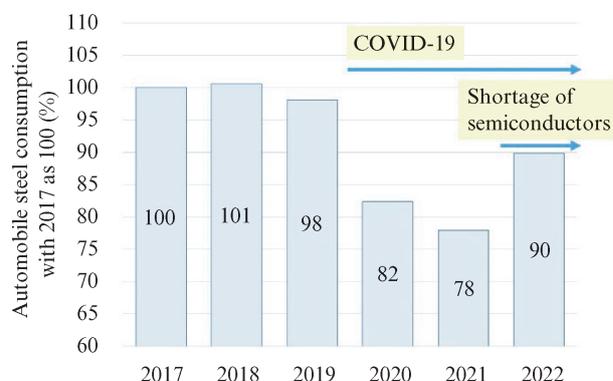


図5 自動車用鋼材消費量推移（2022年度は推定値）

Fig. 5 Automobile steel consumption trends (FY 2022 figures are estimates)

4. 販生流におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）技術の活用

4.1 需給の急激な変動に対する対応および課題

図5に2017年度から2021年度の自動車用鋼材の消費量の変化を示す。2017年度の鋼材消費量を100とすると、2020年度と2021年度は約80と大きく減少している。これは新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行による世界経済の停滞の影響を受けたためである。また、新型コロナウイルス感染症への対応が整いつつある2022年度の消費量も90弱と従来の水準に戻らないことが示されているが、これは自動車ほか多くの分野で、世界的な半導体不足をはじめとするサプライチェーンの波動による減産が起きたためである。このような、中国のロックダウンの影響により様々な部品不足が顕在化し、経済の停滞に伴い減産分野が目まぐるしく変化していく環境下で高炉の稼働を維持するためには、需要変化にタイムリーに対応し粗鋼量を確保する必要があった。

従来、品種構成の転換による影響は、経験に基づき判断

していたため、能力およびコストへの影響や最適な物流計画といった細部まで予測することは困難であった。またその結果、お客様のもとへ適切なタイミングで製品を出荷できなくなる懸念もあった。

JFE スチールではこれらの問題点の解決方法としてデジタルトランスフォーメーション（以下 DX）の活用を進めている。具体的には、データサイエンスおよび最新 ICT を活用した全社的 DX の推進拠点として「JFE Digital Transformation Center」を本社に開設し、全製鉄所・製造所の操業データを統合的に活用できる環境を整備した。そして、生産計画および物流計画に、近年急速に発展している DX 技術を活用した最適化シミュレーション技術を適用している¹²⁾。また、2017年にデータサイエンスプロジェクト部、2019年にはサイバーフィジカルシステム研究開発部を新設し、データサイエンス等の積極的な導入・活用により、物流問題の解決に取り組んでいる。

4.2 薄板一元配車システムの活用による 配送効率向上

物流計画における最適化シミュレーション技術の応用事例を紹介する。東日本製鉄所の3拠点（千葉地区、京浜地区、東京物流センター）より出荷される薄板製品の配車計画を一括作成し、配送ルートを最適化するシステムを開発した¹³⁾。東日本製鉄所は、お客様が物流拠点から一定の範囲内に集中していることから、トレーラー、トラックによる陸上輸送が10,000t/日と多い。また、各拠点が個別に物流計画を作成していることにより、実車と空車の重複が起り物流効率を低下させるといった問題を抱えていた。そこで、メタヒューリスティック法を用いたアルゴリズムを作成することで配車の一元化を試みた。メタヒューリスティック法とは、定義した初期状態から、改善状況のシミュレートを繰り返し、ある程度の精度かつ短時間で最適解を求める手法である。その結果、平均4.9%の物流効率化効果と3.2%のCO2削減効果を得られることがわかったため、配車計画の実務に適用している。

また、出荷作業におけるスケジューリング技術の開発を進めており、これについても本号で別途報告する¹⁴⁾。

5. おわりに

JFE スチールの販売・生産・物流一貫管理技術の展開を、以下にまとめる。

- (1) 生産年齢人口の減少に伴い懸念される人手不足に対応するために労働生産性向上に取り組む必要があり、解決の手段として設備の自動化が有効である。
- (2) 福山地区において、2018年度比で2024年度に+24%、2030年度に+41%労働生産性を向上する目標で設備自動化を進めている。
- (3) カーボンニュートラル実現のため、アンモニア船舶利用の協議会への参画およびモーダルシフトを進めている。
- (4) 生産、出荷量の変化に対応するために DX 技術を活用した取り組みを推進している。

参考文献

- 1) 亀山恭一, 小林克彦. JFE スチールにおける販売・生産・物流一貫管理技術の歴史と展開. JFE 技報. 2011, no. 28, p. 1-4.
- 2) 総務省情報通信統計データベース
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd121110.html>
- 3) 国土交通省自動運転レベル分けについて
<https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>
- 4) 山下徹郎, 續木悠介, 吉田俊介. JFE スチール薄板コイル製品倉庫自動化の取り組み. JFE 技報. 2023, no. 51, p. 54-58.
- 5) 神谷陽介, 塚原睦, 野村光一. 厚板出荷岸壁クレーンオペガイ化による労働生産性向上. JFE 技報. 2023, no. 51, p. 59-63.
- 6) SDGs 実現に向けた JFE グループの取り組み
https://www.jfe-holdings.co.jp/csr/environment/climate/#climate_vision2050
- 7) JFE グループ環境経営ビジョン 2050 説明会資料 <https://www.jfe-holdings.co.jp/investor/zaimu/g-data/jfe/2020/2020-environmental-management-vision210525-01.pdf>
- 8) 株式会社商船三井プレスリリース
<https://www.mol.co.jp/pr/2021/21098.html>
- 9) JFE スチールニュースリリース
<https://www.jfe-steel.co.jp/release/2021/07/210729.html>
- 10) 近藤恵弘, 難波真二, 小原敏之. 荷ざろえから納入までのリードタイム短縮や製品品質の向上に繋がる一貫大ロットユニット輸送技術. JFE 技報. 2011, no. 28, p. 29-33.
- 11) 中嶋淳皓, 澤井爽介, 江口史紘. 鋼材輸送のモーダルシフトによる CO2 削減. JFE 技報. 2023, no. 51, p. 64-67.
- 12) JFE スチールニュースリリース
<https://www.jfe-steel.co.jp/release/2020/07/200720.html>
- 13) 山口取, 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.
- 14) 富山伸司. 出荷作業計画最適化アルゴリズムの開発. JFE 技報. 2023, no. 51, p. 68-71.