

製鉄業を支える情報システム技術とその動向

Information Technology and Its Trend to Support Steel Maker

中川 義明* 関戸 雅司
Yoshiaki NAKAGAWA Masaji SEKITO

抄 録

素材産業かつプロセス産業である鉄鋼業は、受注生産であること、多品種小ロット生産であること、数種の原料から多くの製品を作るブレイクダウン型の製造方式であることが特徴である。このような特徴を持つ産業で生産性を高めるためには、工程別の最適なグルーピング、処理順と工程間の在庫を最小化させる必要がある。また、製造した製品を納期通り顧客に届けるための輸送計画を立案することも重要である。いずれも計画系業務を高度化することが必要であり、1960年代から情報システム技術を適用してきた。近年の計画系への取り組みを紹介するとともに、2010年代から取り組み始めた高度IT技術についてもその概要を述べた。

Abstract

The steel industry is the material industry and the process industry. The industry has following characteristics; “custom-made”, “multi-product small lot production” and “breakdown type manufacturing method that makes many products from several kinds of raw materials”. In order to increase productivity in the industries, it is necessary to optimize the grouping and process order and minimize the inventory between processes. It is also important to decide logistic plans to deliver finished goods to customers as scheduled. In both cases, it is necessary to upgrade planning. So we have applied information system technology since the 1960's. In this report, we introduce the approach to the planning system in recent years, and also outline the advanced IT technology which started approaching from the 2010s.

1. 緒 言

素材産業の一つである鉄鋼業は、数種類の原料から、注文された非常に多くの製品を作り分ける必要がある。このためには、製品特性を作りこむ製鋼工程や製品寸法を作りこむ圧延工程、更には表面を作りこむめっき工程等、複数の工程を経由する必要がある。しかしながら、それらの工程は、それぞれの生産能力を最大限に発揮するため、連続処理できるようにグルーピングし、そのグループ内の処理順も決定する必要がある。このグルーピングは、それぞれの工程でグルーピングのためのキー項目が全く違うため、工程毎に違うグループにしなければならない。そこで、素材から製品に至るすべての工程を通じて、グルーピングや処理順を最適化することが、生産計画の主要業務の一つであり、情報システムに期待される技術である。

一方、これらの各工程で製造された中間製品は、次工程

に搬送されることになるが、工程毎にグルーピングが異なるために、中間在庫が発生し、その中間製品は在庫置場を経由して次工程に搬送することになる。また、製造された製品は、さまざまな顧客に出荷することになり、各製鉄所からバッチ的に運搬される。このように、中間製品の製鉄所内での運搬、製品の製鉄所から顧客に近い物流基地までの運搬も非常に複雑となり、これらの輸送計画も製鉄業を支えるために重要な業務である。

新日鉄住金(株)では、これらの計画系業務を含めた製鉄所の効率化のため、1968年には、24時間365日稼働するオンラインシステムを日本では他産業に先駆け導入し、現在に至るまで日々進歩させてきた(図1)^{1,2)}。

本報では、主に製造を直接支える計画系業務の高度化に資する情報システム技術の紹介を主軸に、末尾では、情報システム技術を進化させ、2010年代から適用を推進している高度ITについても言及する。

* 業務プロセス改革推進部 部長 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

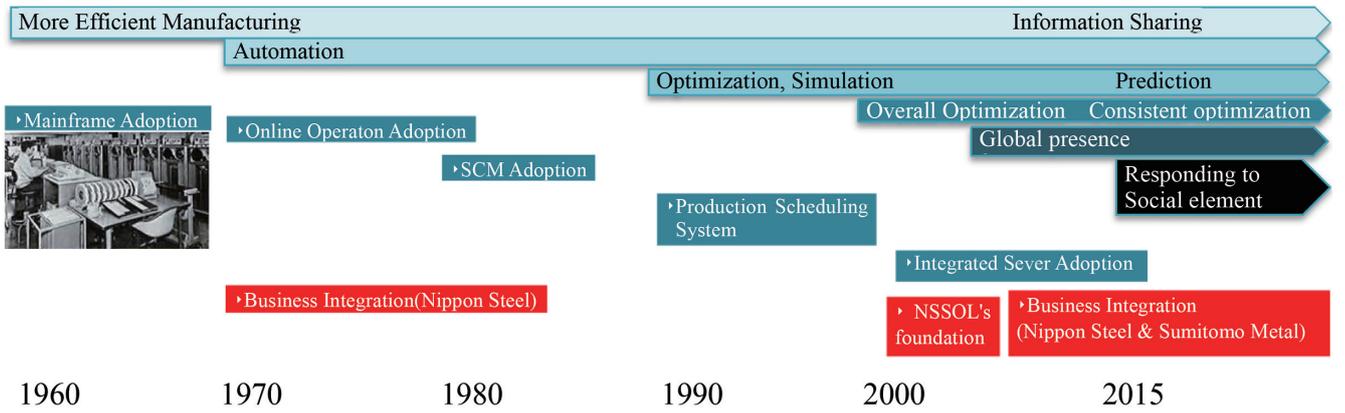


図1 情報システム適用の歴史
History of information system adoption

2. 課題整理

製造業においては、自動車産業に代表される多くの部品を組み立てて製品を生産する Build Up 型の生産方式(図2)と、鉄鋼業に代表される一つの素材から複数の製品を生産する Break Down 型の生産方式(図3)が存在する。どちらも受注生産の形をとるとすれば、Build Up 型は、顧客の注文に応じて必要な部品を手配して、どの部品をいつ何処で組み立てるかを決定し、生産する生産方式と考えられる。一方の Break Down 型は、複数の顧客の注文を各工程で同一処理できるグループに束ねながら、生産の上流に向けて処理工程の選択、グループ作成および処理順を決めていく必要がある^{3,4)}。

鉄鋼業の生産管理システム構築が難しい第1の課題は、Break Down 型の生産方式でありながら、受注生産方式をとり、1製品の重量が一つの製品の品質を主に決定するプロセス(製鋼工程)で処理できる最小重量の数百分の一か

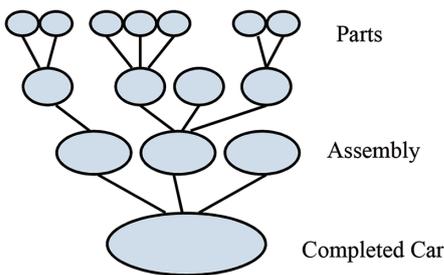


図2 組立産業の特徴—ビルドアップ構造—
Feature of assembly process—build up structure—

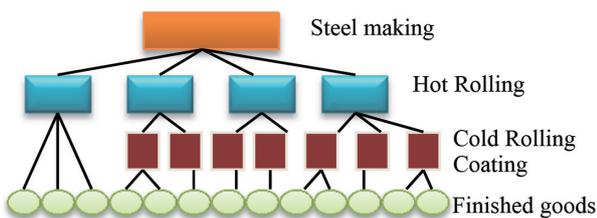


図3 鉄鋼業の特徴—ブレイクダウン構造—
Feature of steelmaking process—break down structure—

ら、数十分の一となることである。

図4に新日鐵住金における受注から納品までの情報管理系のシステム構成を示す。鉄鋼業では、原料が製品になるまでのリードタイムが非常に長いので、事前に商社から引き合い情報を得て、大まかな販売計画、生産計画を立案する。

その後、実際に顧客から注文が入ると、オーダー処理を行い、あらかじめ決定していた月度の生産計画を見直し、注文の現品ならびに仮想現品(まだ現品となっていないが現品に割り付けられるはずの中間製品に含まれる仮の現品)の各工程でのグルーピングを行う。

グルーピング完了後は、グループ内での処理順を決定する。処理順の決定には、品質上の一定の制約があるため、その制約の範囲内で、最大の生産性を確保するよう計画する必要がある。図5は連続圧延工程での処理順番決定のイメージ図である。グルーピングされた一つのロット内において、品質、操業を考慮し、幅、厚、硬度、溶接性等の制約条件のもと順番を決定する⁵⁾。一方で、日々の操業の中で、製造状況に応じて計画通り操業が進まなかった場合、再計画を立てる必要がある。この時は、高速にいくつかの計画案をオペレータに提示しなければならない。

第2の課題は、製造段階での中間製品の製鉄所内の物流

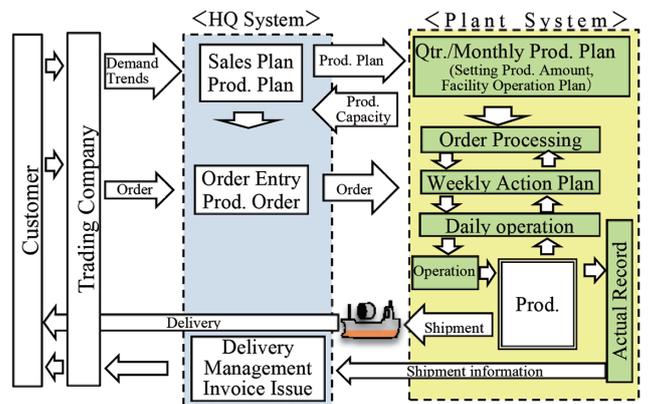


図4 オーダーエントリーから出荷までのシステム構成
Consistent system from order entry to shipment

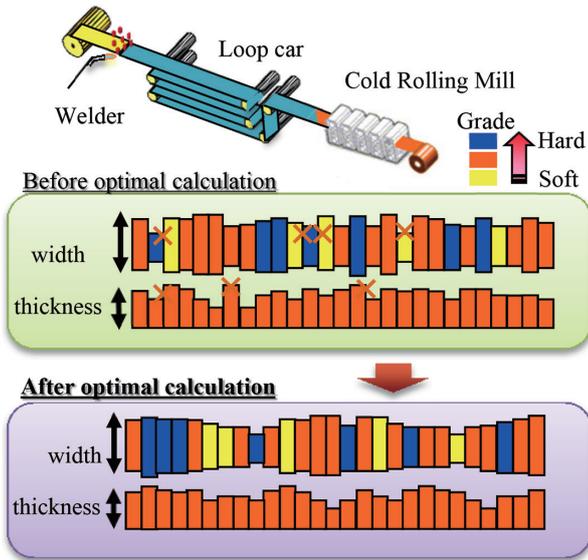


図5 処理順の計画
Scheduling of process order

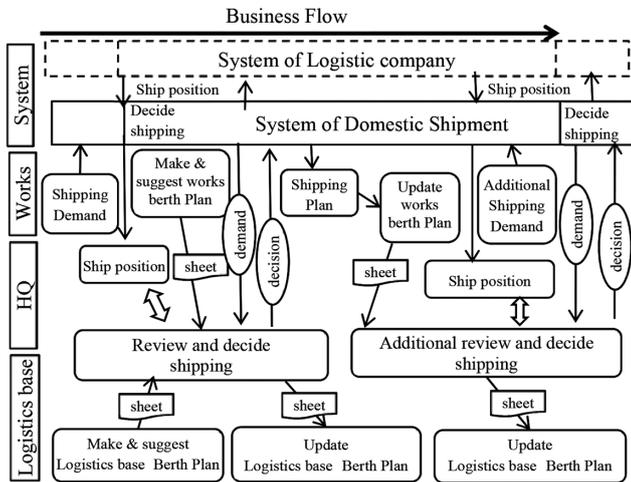


図6 配船計画概要図
Schematic of ship logistics order

と製造完了後の製品の物流の計画である。ここでは、複数の製造拠点で生産された製品を、顧客に近接する港にある基地に非常に多くの船舶を使って海送される製品の物流に絞って記述する。図6に配船計画の流れを記載するが、ミルからの情報を本社が受取り、本社内のシステムや物流子会社のシステムを利用して、複雑な配船計画を立案しなければならない。

以上2点の課題についての情報システムを用いて取り組んできた内容を報告する。

3. 生産計画

多くの計画を立案する必要があるが、一番最初に行うべき計画を題材に説明する。製品特性を作りこむ製鋼工程は、一般に数百トン単位で処理するため、注文を束ねて、同一品質となるグループを作る必要がある。図7はカーボン量の違いによる組み合わせ方法の例である。(a)はあらかじめ

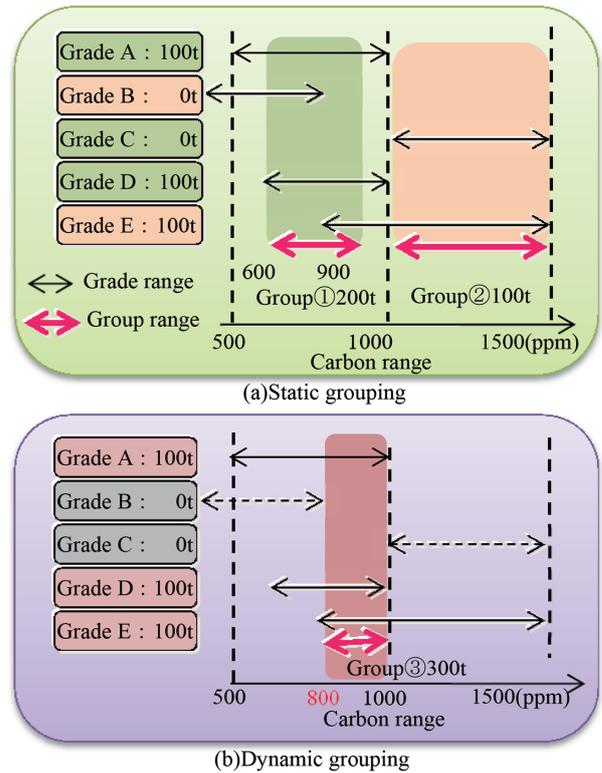


図7 品質グループの統合方法
Schematic of integration of quality group

カーボン量の近い鋼種を事前にグルーピングしておき、注文が入れば、それらグループに静的に割り付ける方法である。ここでは、鋼種AとDでGroup①を200トン、鋼種EでGroup②を100トン作ることになる。ここで、カーボンを調整する転炉の1回あたりの最低処理量が300トンとすれば、Group①で100トン、Group②では200トンが余材となってしまふ。一方、(b)のように、カーボン量を狙い精度(ここでは200ppm)通りに作りこめるのであれば、注文をうまく組み合わせ、Group③を自動で作成し、そのグループを300トン作れば余材は発生しない。

このような組み合わせ問題は、鋼種だけでなく、サイズ、硬度、めっき材質等々で各工程にて発生するため、生産計画では多くの最適化計算が行われている。先の課題で説明した、順番を決定することも含め、新日鐵住金では、従来より表1に示すように多くの最適化計算を多くの手法を用いて求解してきた。

最適化計算を求解する手法を表2に整理する。線形計画法 (Linear Programming) や混合整数線形計画法 (Mixed Integer Linear Programming) のような基本的な手法は、汎用のツールを用いることが多いが、問題が複雑となる組み合わせ最適化では、後続論文で紹介する、研究所が開発した手法や、新日鐵住金ソリューションズ(株)(NSSOL)のシステム研究開発センターが開発したツールも使われている。

上述のように、単一の工程での最適化計算には、多くの手法や、製品が提供されており、概ね実用段階まで来てい

表1 社内で使用されている最適化計算
Optimization calculation used our company

Problem type	Decision content										Constraint condition								
	Group	Decision quantity			Decision combination						Order	Time	Combination		Decision order				
		Allocation	Flow rate	Size, weight, time	1:1	1:N	M:N	Shape					1:N	With shape	Range	Accumulation			
								1D	2D	3D							Relation of elements	Stacking problem	
Setpartition	•																		
Resource allocation		•																	
Maximum flow			•																
Knapsack						•													
Matching					•														
Shortest path													•						
Vehicle routing																			
Vehicle routing with Time-Windows																			•
Asymmetric traveling salesman																			
Asymmetric traveling salesman with Time-Windows																			•
Asymmetric traveling salesman with cumulative restriction																			•
Asymmetric traveling salesman with cumulative restriction and Time-Windows																			•
Job-shop scheduling																			•
Slab design				•															•
1 dimension cutting stock																			•
2 dimension cutting stock																			•
Resource allocation + Job-shop scheduling		•																	•
Resource allocation + Job-shop scheduling + 1 dimension cutting stock		•																	•

表2 最適化計算で使われている手法
Application of optimization calculation

Method of optimization		
Major division	Middle division	Minor division
Mathematical Programing	Linear Programing	Linear Programming (LP)
		Mixed Integer Linear Programming (MIP)
		Steepest Descent Method
Combination Optimization	Constraint Programing	Constraint Programming (CP)
		Tabu Search (TS)
		Genetic Algorithm (GA)
Individual Algorithm	Graph Algorithm	Graph Algorithm
Simulation	-	-

る。しかしながら、計算対象数が多い場合には、計算時間の制約から十分な効果が得られておらず、かつ、操業変動に対して、何度も再計算をするような状況では、数十秒以

下での計算時間が要求されるのに対して、計算機的能力が足りず計算できないことも多い。また、複数工程にまたがった場合の生産計画は、単一工程と異なり、難易度が飛躍的

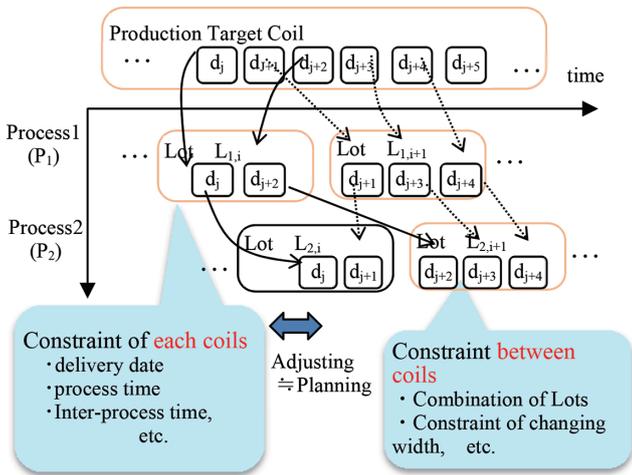


図8 複数工程を跨ぐ最適化計算
Optimal calculation for several process

に増加する。

図8に2工程でのグルーピングとそれぞれのグループの中での処理順のイメージを示す。工程間に十分なバッファがあり、無限の中間在庫を許す場合、P1工程を最適なグルーピングと処理順序で生産し、P2工程で最適なグルーピングと処理順序を決定できるまで、P2工程前に在庫を積み上げる。その後、P2工程も最適化されたグルーピングと処理順序で生産すれば2工程とも稼働中の生産性は最大化できるが、顧客が要求する納期に間に合わないことや、工程間に莫大な在庫が発生することになり、現実的でない。そこで、有限時間範囲で製造しなければならない注文情報に基づき、その範囲の中で最適な組み合わせと順番決めを短時間で決定しなければならず、現在もその手法については研究がなされている。

4. 物流計画

製品物流に対する物流計画の難しさは、非常に多くの製鉄所と揚げ地があること、各製鉄所の荷積み、揚げ地では荷揚げの計画と配船計画を同期させる必要があること、更には、天候の状況によって計画が大幅に変わることなどがあげられる。船による運搬は、図9に示す、船積み、航海、荷揚げの他に積待、揚待、荒天による待機、更には荷揚げ後の次の港までの航海で構成される。積待、揚待時間を削減できれば、運搬の効率化が図れ、船腹の適正化にも寄与できる。

これらの目的で、従来製鉄所毎にばらばらであったバース計画を標準化、共通化し、図6で示したように、本社・箇所間で多くのやり取りをして決定していた配船計画を全社で共通の仮想データベースを構築し、共通のシステムを利用することで効率的な計画が立案できるように変更した(図10)⁹)。

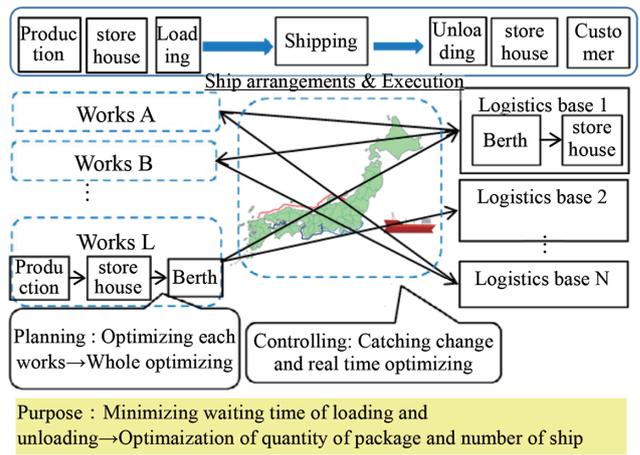


図9 物流最適化の目的
Purpose of optimal logistics

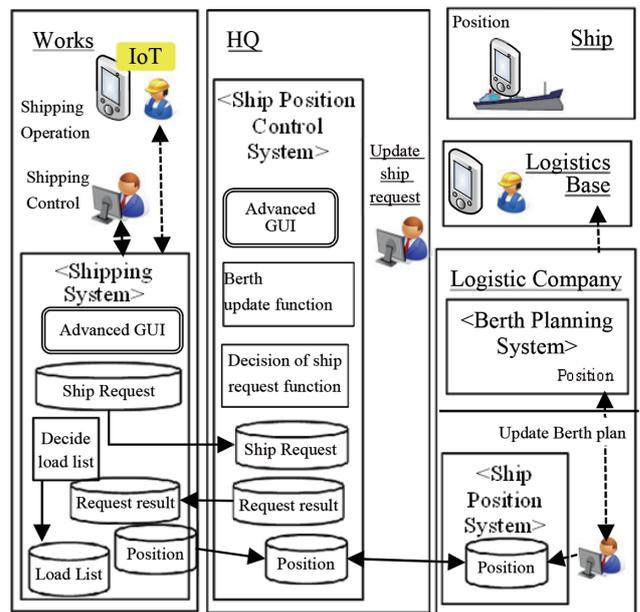


図10 統合物流管理システム概略図
Schematic of integrated logistic control system

5. 高度情報システム技術活用

計算機の進歩、ビッグデータ解析やAIの発展、更にはあらゆるものがネットワークにつながるIoT (Internet of Things) の一般化により、情報システム技術が支えることができる分野が大きく広がった。特に、高度なデータ解析や機械学習については産業界でも使えるようになり、新日鐵住金でもスタッフ業務の効率化や画像認識によるあらゆる判断に導入が進められている(図11)。また、非常に小型軽量のセンサーやスマートフォンにより、従来は不可能であった移動体や人からの情報もネットワークに接続できるようになり、人の見守り等に適用している⁷⁻¹⁰⁾。

6. 結 言

鉄鋼業を支える情報システム技術の一つは、人の判断を支援する計画系業務である。この計画系業務は古くから数

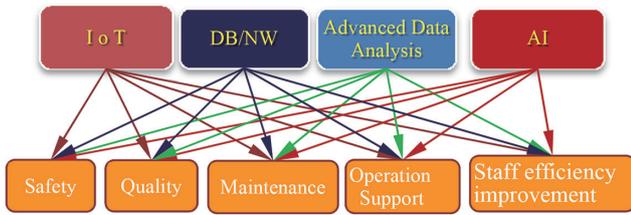


図 11 高度 IT の適用領域
Adoption map of advanced IT

理計画法と計算機の発展に応じて何度もシステム化を行ってきた。しかしながら、完全にシステムによる自動計画ができていない業務は少なく、多くは人が判断するための情報を提供するレベルとなっている。

しかしながら、最後に述べた、高度な情報システム技術が産業界でも十分に使える状況になってきたことから、近い将来、計画系業務に携わる多くの人たちが難解な計画業務から解放されることを期待している。後続の論文では具体的な取り組みについて紹介される。

参考文献

- 1) 寺川彰：マネジメントダッシュボードの紹介。製造業向け製品セミナー。Oracle 社，2010
- 2) 中川義明，谷崎隆士：鉄鋼業におけるサプライチェーンマ

ネージメント。スケジューリングシンポジウム。スケジューリング学会，2009

- 3) Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation: CeBIT 2017. Hannover, 2017-3, Deutsche Messe AG
- 4) 米澤公敏：管理系システム統合と高度生産管理系モデル構築・展開。2016 年度 IT 賞。企業情報化協会，2017
- 5) 松村篤樹：新日鐵住金の大规模・複雑系工程管理を支える IT 技術～高度 IT 活用で今後を切り拓く～。IT インフラ Summit 2017。日経 BP セミナー。日経 BP 賞。2017
- 6) 松村篤樹，木村真人：国内配船一貫最適化プロジェクトにおける高度 IT を活用した船舶動船見える化。2017 年度 IT 賞。企業情報化協会，2018
- 7) 中川義明：今あるものづくり現場への最新 IT の活用。NEC Industrial IoT セミナー。NEC 社，2017
- 8) 森田彰，井内興，東英樹：新日鐵住金におけるデータ解析の取組みについて。DataRobot AI Experience 2017。DataRobot 社，2017
- 9) 中川義明，立山貴久，井内興，東英樹：新日鐵住金におけるデータ解析の取組みについて。Key to Success。2017 Winter, 16 (2017)
- 10) 米澤公敏：生産現場で AI 活用，過去の失敗生かす。日経情報戦略。2016 年 7 月号，18 (2016)



中川義明 Yoshiaki NAKAGAWA
業務プロセス改革推進部 部長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



関戸雅司 Masaji SEKITO
業務プロセス改革推進部
システム企画第三室長