

供給体制の強化 サプライチェーンを効率化する

鉄づくりは鉄鉱石や石炭を海外から輸入して、自動車や船、橋、家電などに使われる多種多様な鉄鋼製品を、高炉から転炉、連続鋳造、圧延、表面処理などの工程を経てつくり分けています。日本製鉄は調達環境変化の対応力を高めるため、原料配船計画や生産計画の最適化システムを開発・運用して素早くて確かな意思決定を可能にし、高品質な鉄鋼製品を安定的に供給する体制を強化するとともに、原料調達から生産に至るまでのサプライチェーンの効率化を図っています。

原料配船計画システム 数理最適化×鉄 Case1

無数の組み合わせから
海象や国際情勢に対応した最適解を見つけ出す



立案時間を7分の1に短縮し
輸送効率は10%向上

鉄鉱石などの原料は主に海外から輸入しています。輸送する物量が多いことに加え、積地（鉱山）や揚地（製鉄所）がそれぞれ複数あるため、鉄鉱石を輸送する船舶のルートの組み合わせは膨大なものになります。また、鉄鉱石は鉱山や鉱脈によって品質が異なり、それぞれの製鉄所が必要とする銘柄が異なります。揚地では原料ヤードに鉄鉱石を保管しますが、どの原料ヤードにどの銘柄をどのくらい保管するかも考慮する必要があります。さらに、1隻の輸送船は1カ所の積地から1カ所の揚地に鉄鉱石を運ぶわけではなく、君津と室蘭といった、複数の揚地に鉄鉱石を運ぶことも珍しくありません。連続で航海するため、1カ所での遅れは次の揚地、次の積地への航海の遅れにつながります。どの積地から、どの銘柄をどのくらい、どの揚地に輸送するかを計画したものが、配船輸送計画です。長年配船輸送に関わってきたベテランでも時間がかかる難しい業務です。

鉄鉱石の価格は市況に加え、地政学的な変化の影響を受けます。また台風の大規模化は、積地・揚地での荷役スケジュールや海上輸送に多大な影響を与えます。このような国際情勢や気象・海象の変化に対応するためには、配船計画を迅速に立案して、変化が生じたときに即座に見直し、計画を修正しなければなりません。そのため、配船計画の最適化により柔軟かつタイムリーな配船管理が必要となります。

配船輸送計画は、まず大きく3カ月単位で立案されます。この際に、それぞれの輸送船のスケジュールは1時間単位で計画されます。これは積地や揚地で鉄鉱石を積み下ろしするための作業時間などに関わり、コストに大きく影響するためです。

間と計画精度を両立し、効率的に配船輸送計画を立案できるシステムが実現できました。

配船計画システムは2021年から本格運用を開始しました。導入によって、従来は1回あたり約35時間かかっていた計画立案作業が、7分の1の約5時間に短縮されました。さらに計画の最適化によって、鉄鉱石の輸送効率が10%向上しています。立案時間が短縮されたことで、最新情報を計画に反映できるようになりました。海上での船舶の位置は刻々と変化しますが、最新の情報を計画に反映することで、より精度の高い計画立案を実現しています。

人的リソースを高付加価値業務へ



日本製鉄(株)
デジタル改革推進部
佐々木 智之 上席主幹

システム導入に当たっては、最初から100点の結果を求めるのではなく、60点の計画が出力できれば新人担当者が計画を立てる際に役立ちます。システムは実際のユーザーからの評価を反映しながら開発していきました。重要なことは、システムの導入によって、変化への対応力の強化やカーボンニュートラル、SDGsへの取り組みなど、人間が考えなければならない、より付加価値の高い業務に時間を割けるようになったことです。今回の取り組みは単なるデジタル技術の導入ではなく、業務を改革していく大きな一歩になったと感じています。

高精度な計画を短時間に算出 他の原料へも展開



日本製鉄(株)
技術開発本部 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
小林 敬和 課長

今回開発したシステムは鉄鉱石を対象としたものです。鉄をつくるためには、鉄鉱石以外の原料も必要です。石炭や石灰石など他の原料も複数の用途があるため、配船パターンはさらに複雑になります。これまで3カ月の配船計画を1時間の精度で計画できるシステムはどこにもなく、独自の技術でこれを実現できたと自負しています。鉄鉱石に続き、他の原料に関しても配船計画のシステム化も実現していきます。

ブラッシュアップし、より高精度を目指す



日本製鉄(株)
原料第一部 原料総括室
小林 正樹 主幹

システム化に当たっては、担当者の頭の中にあるノウハウ(暗黙知)を言語化していく作業が不可欠でした。その作業が一番難しかったのですが、その甲斐あってシステム運用後は担当者から業務負荷が大きく低減されたという話を聞き、とてもうれしく感じています。前提条件の異なる複数の配船計画をシミュレーションするなど、ブラッシュアップすることで、より高精度な配船計画の実現を目指します。

数理最適化×鉄
Case2組合せ爆発の
発生

ここで、何を、いつ、どれだけ、どのような順番でつくれば、効率的に製品を供給できるか。生産計画の立案は非常に重要な業務の1つです。出鋼スケジューリングシステムのキーテクノロジーである数理最適化とは、解決したい問題を数式(数理モデル)で表し、さまざまな制約条件を満たしながら多くの選択肢から最適な組み合わせを求める計算技術です。多くの製造業で用いられていますが、鉄鋼業は類を見ない特殊な製造方式のため、独自にシステムを構築しなければなりません。出鋼スケジューリングシステム開発の背景について、工程企画室の河井田室長は次のように説明します。

「自動車などの組立産業の場合、いつでもラインを止めたり、切り替えたりすることができますが、私たちは高炉から供給される溶けた鉄を相手に製鋼工場を365日24時間動かし続けなければなりません。その一方、鉄鋼製品は日々さまざまなお客様の注文を受けてから製造する受注生産方式でつくられています。製品の仕様は、強度や靱性などの材質、鋼材の表面や内部の品位、厚みや幅といったサイズなど、用途に応じて非常に多くの条件から成り立っています。例えば自動車や飲料缶などに使われている薄板製品だけでも2万〜3万種類にのぼります。

業務のあり方を変えて
効果を最大化

日本製鉄は日鉄ソリューションズのシステム研究開発センターと共に、組合せ爆発を抑えて高速に生産計画の立案が可能になる最適化システムの開発に挑みました。

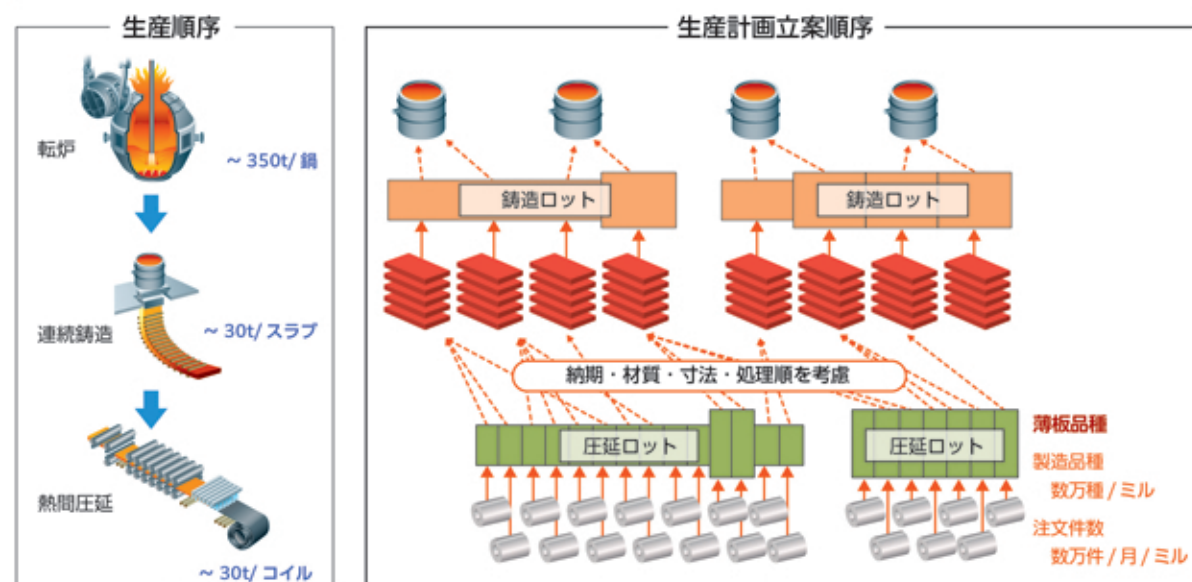
このような多品種小ロットのお客様ニーズに 대응する製品の品質をつくり込みながら、生産能力を最大限に発揮するため、各製造工程では大ロット化(生産性の最大化)ができるようにグループ分けをし、処理順を最適化して生産スケジューリングをつくっています。この生産の起点となるのが製鋼工程で、1週間分10万トンの生産計画を作成する際の組み合わせは10の300乗通り(※2)にも達します。熟練者はこれまで培ってきた経験とノウハウをもとに1つの答えを選んでいくわけですが、必ずしも最適なスケジューリングを作成できないことがあります。一方、コンピュータの技術革新が目覚ましいとはいえ、この組み合わせすべてを計算処理して最適な組み合わせを導き出すことは、現実的に不可能でした。この現象は組合せ爆発と呼ばれています。そういう背景のもと、出鋼スケジューリングシステムの開発が始まりました。

出鋼スケジューリングシステム
天文学的な数の組み合わせから
最適な生産計画を導き出す鉄鋼業の
製造方式の
特徴

鉄鋼業は受注生産で多品種小ロット(※1)の鉄鋼製品をつくり分けています。また1つの素材から複数の製品を生産するブレードダウン型の製造方式も大きな特徴です。生産能力を最大限に発揮するために各製造工程で複数の注文や半製品を適切にグループ分けすることが必要となります。なかでも生産の起点となる製鋼工程の生産計画には天文学的な数の組み合わせが存在し、そこから最適な計画を導き出す必要があります。

日本製鉄は数理最適化技術を応用して、製鋼工程における生産計画を高速立案する「出鋼スケジューリングシステム」を日鉄ソリューションズ株と共同開発し、2023年3月から東日本製鉄所君津地区で本格運用を開始しています。これまで熟練技能者が毎週8〜10時間を費やして1週間分の生産計画を作成していましたが、出鋼スケジューリングシステムの導入によって若手技能者でも熟練者同等の週間計画を数秒〜数分で導き出すことができますようになりました。お客様からの納期変更や製鉄所内での操業変動による環境の変化にも柔軟に迅速に対応できる最適な計画作成を実現し、生産性の向上につながっています。

鉄鋼生産計画



生産は、上工程から下工程へ 計画は下工程から上工程へ

※2 10の300乗 = 1000・・・000(0が300個続く)

※1 ロット: 同じ条件でつくる製品の最小単位。



日本製鉄(株) 東日本製鉄所
工程業務部 工程企画室
河井田 博昭 室長



日本製鉄(株) 東日本製鉄所
工程業務部 君津工程計画室 君津生産管理課
井上 聖也 班長



日本製鉄(株)
デジタル改革推進部
森田 幾太郎 主幹



日本製鉄(株)
技術開発本部 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
平野 弘二 室長

「開発ポイントは制約条件の見直しと評価指標の設定でした。例えば計画対象が1000スラブとすると、このスラブを組み合わせた生産計画のパターンは10の300乗通りに及びます。同一の製造条件を持つスラブをグループ化したり、製造順や材質などの制約条件を考慮し、絞り込むことで、組み合わせを1億通りまで減らし、高速計算処理を可能にしました。また評価指標については、熟練者の暗黙知を数式に反映できるように点数化しました。いずれも私たちのこれまでの実務に合わせるのではなく、製造部門と品質管理部門が一体となって製造実力向上を図るため、システムに合わせ込んだ仕事のやり方に変えることで、経験の浅い若手技能者でも熟練者と同じレベルの計画立案が可能となる出鋼スケジューリングシステムを研究開発部門と協働して開発することができました(河井田室長)。

出鋼スケジューリングシステムは東日本製鉄所君津地区で導入されました。その効果について君津生産管理課の井上室長は次のように話しています。

「毎日のように発生する計画変更に対する業務負荷が大幅に減りました。また従来は出来栄評価がなく、1週間単位で先週はどのくらいの実績だったのかを確認することしかできませんでした。出鋼スケジューリングシステムは評価指標があるので、現時点での課題が見えるようになり、意思決定しながら仕事が回っています。この職場に就いてから大量にある標準パターンを覚えることと、それらを踏まえた最適解の導き方を学んできましたが、出鋼スケジューリングシステムによって新たな知識やノウハウの蓄積に役立っています。今後はシステムをアップデートしていくことで、その効果を維持継続していかなければならないと感じています。これまでの業務のあり方をさらに見直すことで、最大限に効果を発揮させていきたいと考えています」

河井田室長、デジタル改革推進部の森田主幹もまた今後の抱負を次のように語っています。

「すでに製鋼工程の歩留改善効果が表れています。出鋼スケジューリングシステムは薄板製品を前提に開発しましたが、条鋼製品や鋼管製品でもシステム導入が検討されています(河井田室長)。

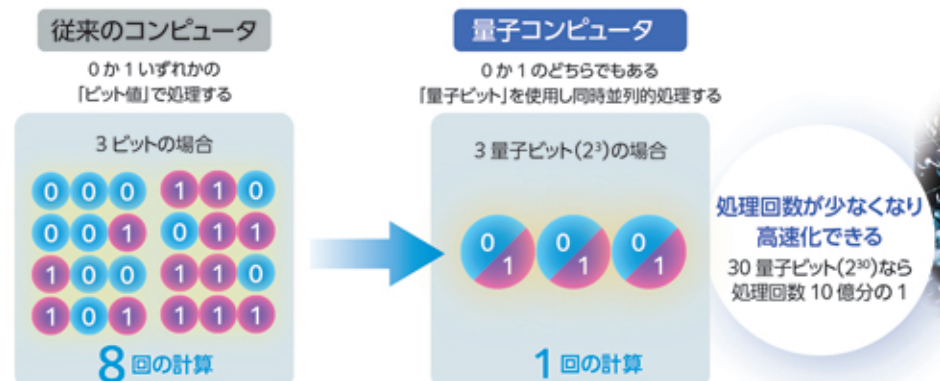
「2023年4月から本社営業総括部の下にプロジェクトチームが発足しました。デジタル改革推進部でも、このチームと一緒に、システムだけでなく、君津地区での業務のあり方をモデルとして、出鋼スケジューリングシステムを他の製鉄所・他の品種に展開していく予定です。また、数理最適化技術の他の工程への応用も見据え、工程・製鉄所の個別最適から脱却して、工程間・製鉄所間の全体最適を実現する統合生産計画プラットフォームの構築を目指していきます(森田主幹)。

「開発ポイントは制約条件の見直しと評価指標の設定でした。例えば計画対象が1000スラブとすると、このスラブを組み合わせた生産計画のパターンは10の300乗通りに及びます。同一の製造条件を持つスラブをグループ化したり、製造順や材質などの制約条件を考慮し、絞り込むことで、組み合わせを1億通りまで減らし、高速計算処理を可能にしました。また評価指標については、熟練者の暗黙知を数式に反映できるように点数化しました。いずれも私たちのこれまでの実務に合わせるのではなく、製造部門と品質管理部門が一体となって製造実力向上を図るため、システムに合わせ込んだ仕事のやり方に変えることで、経験の浅い若手技能者でも熟練者と同じレベルの計画立案が可能となる出鋼スケジューリングシステムを研究開発部門と協働して開発することができました(河井田室長)。

出鋼スケジューリングシステムは東日本製鉄所君津地区で導入されました。その効果について君津生産管理課の井上室長は次のように話しています。

「毎日のように発生する計画変更に対する業務負荷が大幅に減りました。また従来は出来栄評価がなく、1週間単位で先週はどのくらいの実績だったのかを確認することしかできませんでした。出鋼スケジューリングシステムは評価指標があるので、現時点での課題が見えるようになり、意思決定しながら仕事が回っています。この職場に就いてから大量にある標準パターンを覚えることと、それらを踏まえた最適解の導き方を学んできましたが、出鋼スケジューリングシステムによって新たな知識やノウハウの蓄積に役立っています。今後はシステムをアップデートしていくことで、その効果を維持継続していかなければならないと感じています。これまでの

量子コンピュータは超高速に最適な答えを見つけ出す



量子コンピュータは、高速で計算を繰り返す従来型コンピュータよりも計算の回数を減らせる可能性があり、桁違いの速いスピードで問題を解くことができると期待されています。日本製鉄では生産・物流計画における組合せ爆発問題に対応するため、量子コンピュータ活用の検証に取り組んでいます。

タはその威力を発揮します。無数にある組み合わせの中から全候補を同時に調べることができ、より速く最適な選択肢を見つけ出すことに適しているのです。

「鉄鋼業は鉄鉱石と石灰を混ぜて数種類の鉄をついているだけと思われがちですが、実は数万種類という膨大な製品をつくり分けています。お客様のニーズに合わせて新製品を続々と開発しており、つくり分けていく種類が増えています。材料としての鉄鋼製品の進化に合わせて、生産計画の技術も進歩していかなければなりません。未来を見据えた研究として量子コンピュータの活用を模索しており、それを活用することでものづくりの磨きをかけていきたいと考えています(森田主幹)。

「現状の量子コンピュータでは扱える桁数(問題規模)に限りがあったり、『重ね合わせ』という量子コンピュータの特性が長続きしなかったり、など課題があります。少なくとも数万量子ビットを備えた量子コンピュータが実現し、長時間の稼働が可能になれば、世界は変わることでしょう。そうすると日本製鉄社内の生産・物流計画という枠を越えて、将来的には社外のお客様と社内各工程のデータをつなげられれば、真のサプライチェーン全体の最適化が理想的に果たされるはずです。引き続き量子コンピュータ活用の可能性を探究していきます(平野室長)。



量子コンピュータの可能性を探究する

組合せ爆発という生産計画上の課題を解消するため、日本製鉄では量子コンピュータ活用の可能性を探っています。

「製鋼工程は技術者の工夫によって解決しました。それ自体すごいことなのですが、鉄鋼業は原料輸送から高炉、製鋼、圧延、冷延めっき、製品輸送に至るまで複数工程で成り立っています。解く対象の工程が増えると生産計画の組み合わせは、10の300乗から600乗、900乗、1200乗通りへと大きくなっていきます。このように、組合せ爆発の問題は、解くべき問題が大きいくほど顕著になります。今までは技術者の工夫で乗り越えられましたが、工程が増えていくと乗り越えきれなくなります。鉄鋼業は、生産計画の立案以外にも、物流分野など、多数の領域で組合せ爆発が発生する問題を抱えています。だからこそ量子コンピュータという夢の飛び道具の活用によるブレイクスルーに期待を寄せて、適用検討を重ねています(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・平野室長)。

量子コンピュータとは、物質を構成する原子や電子など量子の持つ性質を利用して情報処理を行うコンピュータです。量子の世界で起こる物理現象を応用することによって、超高速計算が可能になるものと世界中の政府や産業界から大きな注目を集めています。

従来型コンピュータは、情報をすべて0か1に置き換えて計算しています。そのため、最適な組み合わせを見つけるるとき、すべての組み合わせを1つずつ計算して、丹念に探さなければなりません。

一方、量子コンピュータは0でも1でもある「重ね合わせ」という特殊な物理現象を用いて、並列計算を行うことができます。例えば3桁の最適な組み合わせを見つける場合、従来型コンピュータで8回の処理が必要だったプロセスがわずか1回で済みます。こうした仕組みによって、桁数が大きくなればなるほど、量子コンピュー