

製鉄業における輸送技術の系統化調査

Historical Survey of Transportation Technology in the Steel Industry

1

川合 等 Hitoshi Kawai

■ 要旨

150年前、安政4年（1857年）に大島高任が岩手県の釜石で鉄鉱石を使って鉄を作ったのが日本の近代鉄鋼業の始まりである。ペルリ来航以来、西洋の事情を入手したわが国は産業技術が遅れていることに驚き、中でも船の必要性を強く感じ、その材料である鉄が必要であることを痛感した。そして明治政府は官営製鉄所を建設することに力を注ぐこととなる。鉄鉱石の輸送のために明治13年（1880年）釜石官営製鉄所に鉄道が敷設されたが、これは産業用としては日本最初であった。これを見ても明治政府が釜石官営製鉄所にいかに力を入れていたかがよくわかる。その後八幡官営製鉄所を建設し、日本の製鉄業の地盤が固まることとなる。

鉄の製品1tonを作りだすのに10ton以上の輸送が必要だといわれている。そのため鉄を作りだすためには輸送設備が確立していなければならない。特に原料輸送においては製鉄業より先進であった鉱山の技術を導入して輸送能力を確保していった。

第二次世界大戦で製鉄所は攻撃的になり、どの製鉄所も壊滅的な被害を受けたが昭和25年（1950年）ころには戦前のレベルまで復興を実現する。その後朝鮮戦争を経験し、鉄の需要が急速に拡大する。これに対応して鉄の生産が飛躍的に増大するが、輸送量も激増した。必要な輸送能力が非常に大きくなったため、他産業の技術をそのまま導入するというよりも製鉄業に適応した設備を開発することが必要となった。

原料輸送では鉱山で使っていた技術をもとに原料貯蔵場から荷を切り出すリクレーマ設備を開発することでベルトコンベヤシステムを確立でき、荷役能力が飛躍的に向上した。この技術が確立したことが現在の鉄鋼生産量の実現に大きく貢献した。

製鉄業の鉄道輸送は大きな牽引力、低速であるが起動停止の頻度が高い。これに適したトルクコンバータを採用することでディーゼル機関車が蒸気機関車を駆逐した。

安定成長期に入って労働生産性、環境問題が大きな課題となった。ディーゼル機関車化はこの課題の解決に大いに役立った。港での原料の荷揚げにはグラブバケットアンローダを用いていたが、落鉱がなく安定操業の可能な連続アンローダが開発され、これが主流となってきた。

労働生産性、環境の問題は引き続き大きな課題である。製鉄所の中で一番汚いと言われる原料地区をきれいにすることに今後も取り組んでいかなければならない。屋内貯蔵設備の検討も一つの方向であろう。

輸送作業は定期的に発生する作業であるが、それはいつも同じ作業ではない。搬送物の状態および周囲の状態をよく把握して操業する必要がある。そのため自動化が困難な作業が多く、ほとんどが一人作業となっている。このことは安全上からも好ましくない。近年、画像処理技術、コンピュータ技術が発達した結果、周囲の状況をテレビで確認し、それによりコンピュータが運転方法を指示するという自動化技術が開発されている。今後こういった技術が実機化され、自動化が進むことを期待している。

本稿では、製鉄業において重要な位置を占める輸送技術の変遷を追い、時代の要請にどのような対応をしてきたかについて分析を試みた。

■ Summary

The modern steel industry in Japan was born about 150 years ago in 1857 when Takato Oshima used iron ore to make iron in Kamaishi, Iwate prefecture. With the arrival of Commodore Perry's "Black Ships," Japan became aware of Western affairs and the West's superior industrial technology, which created much alarm. There was a great sense, in particular, of the need for ships and the material they are made of, that is, iron. This urgent need prompted the Meiji government to expend much effort in building state-run iron works, and to transport the iron ore, it constructed a railway to the state-run Kamaishi Iron Works in 1880 marking the first time that a railway was used for industrial purposes in Japan. This in itself shows just how much effort the Meiji government was putting into the Kamaishi Iron Works. Then, with the building of the state-run Yawata Iron Works, the foundation of the Japanese steel industry was laid.

The making of 1 ton of iron products is said to require the transport of over 10 tons of material. The building of transport facilities is therefore a necessity for iron production. Initially, sufficient transport capacity, especially for the transport of raw materials, was achieved by introducing technology from the mining industry, which predated the steel industry.

During the Second World War, iron works in Japan became targets for attack and all suffered extensive damage, but they were consequently restored to their prewar levels around 1950. The demand for iron then rose dramatically during the Korean War, and to meet this need, production of iron in the steel industry increased significantly resulting in an upsurge in the amount of material that needed to be transported. To achieve such a large transport capacity, it was realized that new facilities applicable to the steel industry had to be developed instead of just introducing technologies from other industries.

For the transport of raw materials, a belt conveyor system has been developed by developing reclaimer facilities based on technology used in mining. This system has improved loading and unloading capacity immensely and has contributed greatly to achieving the current steel production levels.

Railway transport in the steel industry features great pulling capacity at low speeds, but start-stop frequency is high. The adoption of the torque converter suitable for this kind of operation caused steam locomotives to be replaced by diesel locomotives.

After entering a stable period of growth, labor productivity and environmental problems became major issues in the steel industry. The transition to diesel locomotives played a big role in alleviating these problems. In addition, the use of grab bucket unloaders for unloading raw materials at the harbor has been superseded by the development of continuous unloaders that are capable of stable operation without dropping ore.

Nevertheless, labor productivity and environmental problems continue to be major issues. Looking to the future, it is imperative that raw-material areas that are considered to be the most polluted be cleaned up. Making studies of indoor storage facilities is another step in the right direction.

Although transport operations are performed on a regular basis, they are always different. The state of the material being transported and that of the surrounding environment must be taken into account. As a result, there are many transport tasks that are difficult to automate, and most of these are done alone. This is not desirable from a safety point of view. Recently, however, progress in image processing technology and computer technology is making possible the development of automation technology whereby a computer checks peripheral conditions by camera and controls transport accordingly. Technology such as this is expected to be deployed in actual equipment in the years to come thereby promoting the conversion to automated systems.

This paper examines changes in transport technology, which occupies an important position in the steel industry, and analyzes how transport has changed to keep up with the needs of the times.

■ Profile

川合 等 *Hitoshi Kawai*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター特任調査員

昭和44年3月	京都大学大学院工学研究科修士課程修了
昭和44年4月	八幡製鐵株式会社（現：新日本製鐵株式会社）入社 君津製鐵所において主として設備計画、整備部門 を担当
平成3年4月	技術開発本部において主として物流設備の設備計 画を担当
平成6年11月	日鐵運輸株式会社入社 技術部門、機工事業部門、運送事業部門を担当
平成16年10月	日鐵運輸株式会社退職（現在に至る）

■ Contents

1.はじめに	3
2.黎明期の製鉄業における輸送.....	6
3.製鉄業における原料荷役のあゆみ	8
4.溶銑・溶滓輸送技術のあゆみ	32
5.製鉄業における輸送技術の系統化	41
6.あとがき・謝辞	45
登録候補一覧.....	46
付録1 製鉄会社の沿革	47
付録2 輸送機器を製作する機械メーカーの沿革	48

1 はじめに

鉄を作る工程は製造する製品によって若干異なるがおおよそ図1.1のようになっている。特に製鋼工程までのいわゆる上工程はどの製鉄所でもほとんど同じである。鉄鉱石、石炭、その他の材料に数多くの工程を経由させることにより様々な鉄鋼製品が生み出されている。この工程間に半成品の輸送が発生する。そして工程数が多いことから鉄1tonを作るのに10ton以上の輸送が発生するとよく言われている。昭和34年度の八幡製鉄所の実績では運輸取扱量が粗鋼生産高の13倍であったという記録がある。¹ そして「製鉄業は輸送業なり」とも言われる。図1.2には原材料から粗鋼を得

るまでの工程における主な原材料の流れを示している。そして粗鋼1,000tonを作る時に必要な原材料の重量を示している。この数値は原材料の種類や製造方法により変化するので正確な値ではないが概数としてとらえてほしい。この流れ（矢印）が輸送である。そしてベルトコンベヤで輸送するものを除いても輸送量（図中の網掛けの数値の和）は8,000tonを越え、この上工程だけでも粗鋼の8倍の輸送が必要であることが分かる。このように製鉄業にとって輸送は非常に重要である。

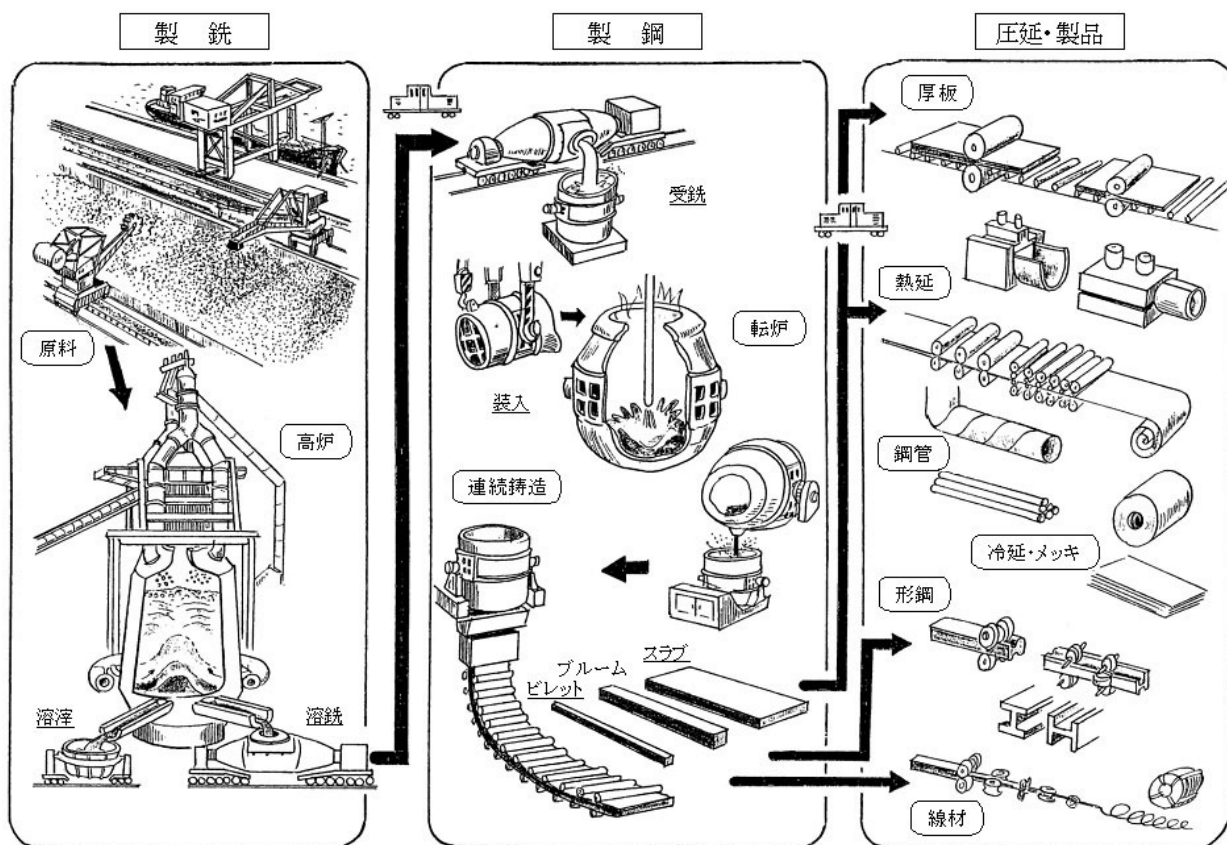
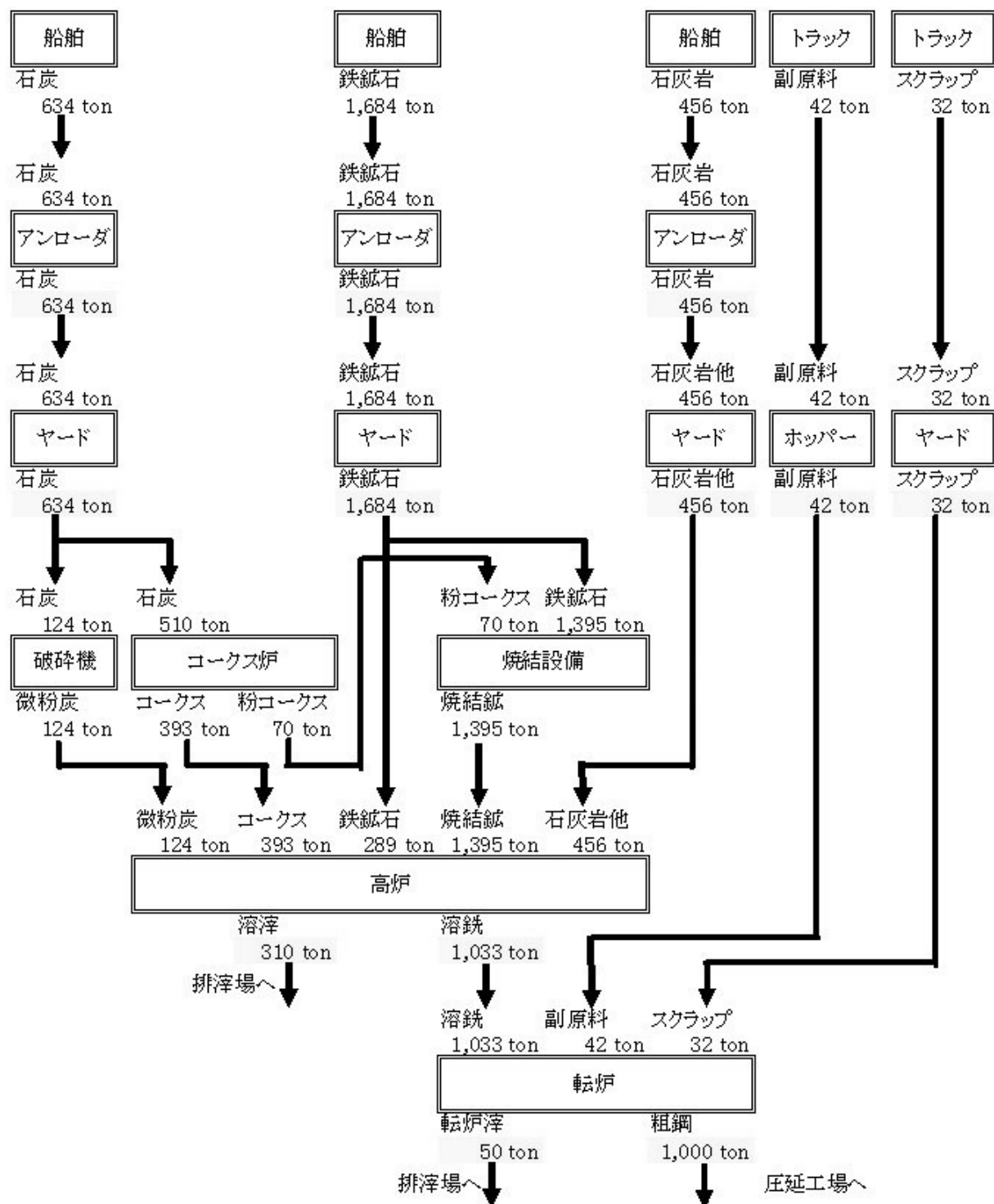


図1.1 製鉄業の生産工程フロー



粗鋼 1,000 ton に対し総輸送量（ガス・水等を除く）8,014 ton（網掛け数値の合計）
すなわち上工程のみで粗鋼の 8.0 倍の輸送が必要である

図1.2 粗鋼1,000tonを生産するために要する主な物流

輸送に関する技術は非常に重要であるにもかかわらず、縁の下での力持的な存在でありあまり脚光を浴びることなく技術の発展を系統的にまとめた文献が見当たらない状態である。

本稿では製鉄業において特徴的な上工程の輸送、特に原料荷役と溶鉄・溶滓輸送に的を絞って述べること

とした。

約150年前に大島高任が岩手県釜石で鉄鉱石から鉄を製造した²が、第2章では当時の原料輸送の状況について記した。

その後八幡に官営製鉄所が設置され銑鋼一貫の製鉄業が確立されたが、輸送に関して言えば製鉄業のため

に開発した輸送技術でなく他の産業部門の技術を導入することにとどまっている。

ところが第二次世界大戦が終了し製鉄業が復興して、朝鮮戦争を経験した昭和27年（1952年）ころから鉄の需要量が増大し、図1.3に見るようにわが国の粗鋼生産量も昭和34年（1959年）頃から飛躍的に増大した。そして高炉の新設が相次ぐとともに、生産量の拡大を目的に新設高炉の炉容積はどんどん大きくなり、昭和40年（1965年）頃までには2,000m³以下であったものが昭和45年には4,000m³から5,000m³になっている。図1.4は新設高炉の炉内容積の変遷を示している。

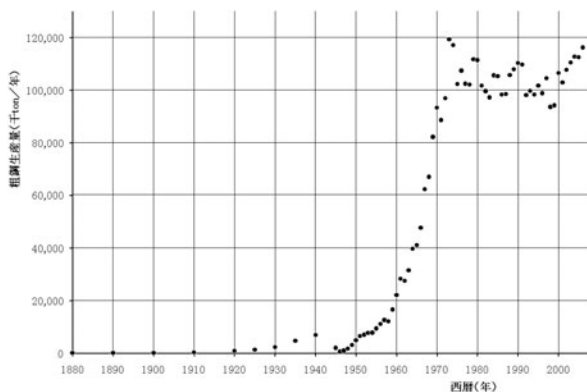


図1.3 わが国の粗鋼生産量の推移
「数字で見る日本の100年 改訂第5版」³
「日本国勢図会 2007/08年版」⁴のデータより筆者が作成

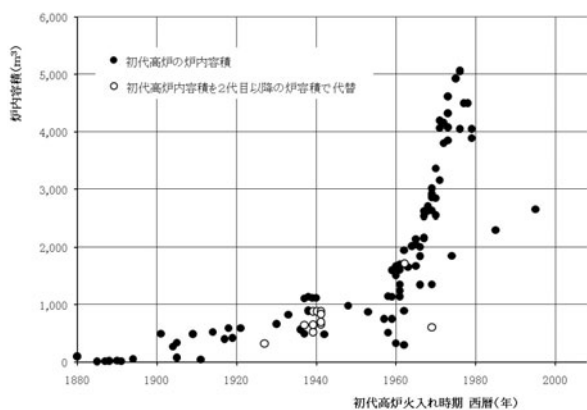


図1.4 新設高炉の炉容積の推移
「鉄鋼生産設備の現況」^{5,6,7,8,9}「わが国における製鉄設備の概要（1980年版）」¹⁰「鉄鋼主要設備動向（2002年版）」¹¹
「高炉製鉄法」¹²等のデータより筆者が作成

そして炉容積が大きくなった昭和45年以降の大きな高炉ではその生産量は1日当たり10,000tonにおよび、輸送量はこの10倍以上になる。そのため輸送の高速化・大重量化が望まれた。この要望は他産業の比ではなく、製鉄業特有の輸送設備が開発されてきた。原料荷役機器、連続アンローダ、混銑車などに技術開発の跡が見られる。

第3章では原料の受け入れから原料ヤードに貯蔵し

高炉に向けて払い出すまでの輸送について、鉄道輸送、グラブバケットアンローダ、コンベヤシステム、連続アンローダに焦点を当てて記述した。

第4章では高炉から産出される溶銑・溶滓をそれぞれ製鋼工場・排滓場に運ぶ鉄道輸送に関して、輸送形態、機関車、運転要員の変遷を記述した。

第5章では導入される設備の荷役能力の推移に注目した。粗鋼生産量の変化によりそれがどのように変わったかを記述した。

鉄鋼会社および輸送機械を製造する機械メーカーは創業以来、離合・改称を繰り返しているものが多い。それぞれの会社の社史やホームページを参考に高炉を有する鉄鋼会社および本稿に關係する輸送機械を製作する機械メーカーの沿革をまとめ巻末に掲載した。

なお、記述に当たって会社名を示す漢字は戦前を含め旧字を使用せず、当用漢字等通常使用される漢字を使用することとした。また会社名に含まれる株式会社等の記述は省略することとした。

引用文献

- 1 日本鉄道車両工業協会編「産業で活躍する特殊貨車」28p（昭和37年）
- 2 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」810p（昭和61年）
- 3 矢野恒太記念会編「数字で見る日本の100年 改訂第5版」254p（平成18年）
- 4 矢野恒太記念会編「日本国勢図会 2007/08年版」197p（平成19年）
- 5 日本鉄鋼連盟編「鉄鋼生産設備の現況 昭和35年12月末現在調」98p（昭和36年）
- 6 日本鉄鋼連盟編「鉄鋼生産設備の現況 昭和43年12月末現在調」12p（昭和44年）
- 7 日本鉄鋼連盟編「鉄鋼生産設備の現況 昭和59年12月末現在調」16p（昭和60年）
- 8 日本鉄鋼連盟編「鉄鋼生産設備の現況 平成4年12月末現在調」16p（平成5年）
- 9 日本鉄鋼連盟編「鉄鋼生産設備の現況 平成8年12月末現在調」16p（平成10年）
- 10 日本鉄鋼協会共同研究会製銑部会編「わが国における製鉄設備の概要（1980年版）」8-1p（昭和55年）
- 11 川鉄テクノロジー株式会社知的財産・技術情報事業部編「鉄鋼主要設備動向」14p（平成14年）
- 12 新日鉄君津製鉄所製銑部編「高炉製鉄法」585p、593p（昭和50年）

2 黎明期の製鉄業における輸送

最近話題となっている「たたら法」による鉄の製造はわが国でも古くから行われていた。そして大島高任が安政4年（1857年）に釜石でこの技術と西洋技術を融合させ、鉄鉱石を使って鉄を作ったのがわが国の近代鉄鋼業の始まりといわれている。¹ しかし規模はまだ小さく、文久元年（1861年）ころの年間生産量は南部藩の8座に仙台藩の2座を加えてもせいぜい3,000tonぐらいであった。²

釜石では原料の鉄鉱石を近在の山から入手し、燃料は木炭でこれも近在の山から入手している。そして輸送は人力と牛に頼っていた。³ 山から掘り出された鉄鉱石は人力で牛の通れる所（牛立場という）まで搬出され、そこから牛によって高炉の近くまで運ばれ貯蔵されるというものである。その様子が図2.1の南部家の「両鉄鉱山御山内並高炉之図」（通称高炉絵巻）からうかがえる。

明治13年9月に操業が始まった高炉であったが間もなく破綻が生じた。⁸ 木炭の消費量が予想の倍になりその調達ができなくなってしまったためである。結果として3か月強で高炉操業を中断した。明治15年（1882年）3月再度火入れを行い操業に入り当初は順調であったが、木炭の質が悪く出鉄量が減少していった。さらに木炭に変えてコークスを使用したが、コークスに関する研究が十分でなく炉内に火力が行き渡らず出鉄量が減少し、同年9月に休止せざるを得なくなった。

この時代の釜石の輸送状況は鉄道輸送と牛馬輸送が混在し、輸送能力の面でアンバランスなものであった。⁹ 25ton高炉2基に要する鉱石量が1日70ton程度であるのに対し、明治15年4月の1日当たりの輸送可能量はわずか15~6tonであった。このような輸送上の問題も操業休止につながる一因であった。明治15年12月には官営釜石製鉄所の廃止が決定し、釜石鉄道も輸送を停止して輸送



図2.1 人および牛馬による鉱石の駄送（高炉絵巻から）
出典：新日本製鉄釜石製鉄所編「鐵とともに百年 [写真・資料]」⁴

ペルリ来航以来、日本では船の必要性を強く感じ各地に造船所が設立された。しかし船建造用の材料である鉄は海外からの輸入に頼るしかない状況であった。明治維新後、国は製鉄業の必要性をじ釜石に官営製鉄所を作ることとした。そしてその釜石製鉄所で明治13年（1880年）9月に初出鉄が得られた。⁵

それに先立ち明治13年2月に輸送手段としての鉄道が完成している。この釜石鉄道は新橋-横浜間、神戸-大阪間につぐ日本で3番目の鉄道で産業用鉄道としては史上最初のものである。⁶ 軌間は838mm（2フィート9インチ）と通常の鉄道よりさらに狭い。当初の総延長は26.2kmで、貨車を牽引する蒸気機関車としてイギリスのシャープ・スチュアート社から3台が購入された。図2.2がその写真である。

設備は撤去・処分された。

やがて民間の力で釜石鉱山として再興され、明治19

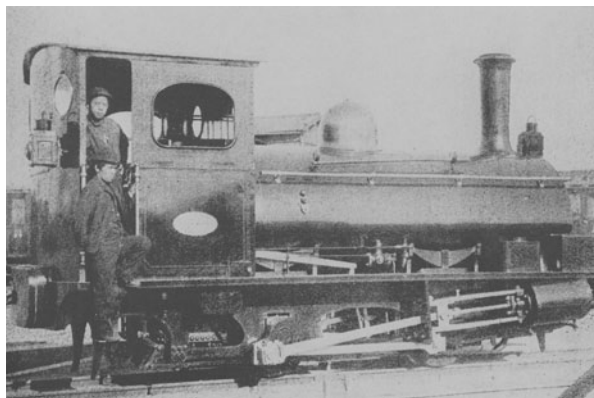


図2.2 官営釜石製鉄所のイギリス製蒸気機関車
出典：臼井茂信著「機関車の系譜図1」⁷

年（1886年）10月16日に高炉から出銑された。¹⁰ この日が新日本製鉄釜石製鉄所の創業記念日となっている。官営製鉄所の失敗後鉄道輸送設備は撤去されてしまっていたため荷馬車輸送に逆戻りし、重大な支障をきたした。明治27年（1894年）生産設備の増強に合わせて馬車鉄道の運行となった。¹¹ この馬車鉄道は釜石鉱山軽便鉄道が明治44年（1911年）に開業するまで大きな役割を果たした。

官営八幡製鉄所が創業を開始する明治34年（1901年）の釜石鉱山の年間生産量は、約15,000tonであった。¹²

この間の状況は新日本製鉄釜石製鉄所の100周年記念誌「鐵と共に百年」に詳しく記載されている。

引用文献

- 1 盛利貞編「鉄鋼工学講座1鉄鋼精錬の基礎」3p（昭和49年）
- 2 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」23p（昭和61年）
- 3 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」810p（昭和61年）
- 4 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年 [写真・資料]」6p（昭和61年）
- 5 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」44p（昭和61年）
- 6 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」811p（昭和61年）
- 7 白井茂信著「機関車の系譜図 1」11p（昭和47年）
- 8 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」46p（昭和61年）
- 9 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」815p（昭和61年）
- 10 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」68p（昭和61年）
- 11 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年」818p（昭和61年）
- 12 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年 [写真・資料]」264p（昭和61年）

3 製鉄業における原料荷役のあゆみ

3.1 貨車輸送時代

日清戦争を経験し、ますます鉄の必要性を感じた政府は製鉄所の建設を計画する。この計画で建設されたのが官営八幡製鉄所（現：新日本製鉄八幡製鉄所）である。前述の釜石のほかにいくつかの製鉄所がそれまでに建設されていたがすべて鉄源のみの工場であった。しかし官営八幡製鉄所は当初より分塊工場、中板工場、形鋼工場（中形、小形・軌条）を併設するわが国最初の銑鋼一貫製鉄所である。¹

建設にあたって機械設備はほとんどドイツから購入された。そして明治34年(1901年)に創業を開始している。当時の八幡製鉄所のイラストを図3.1に示す。創業当時の高炉の年間生産能力は58,000tonであった。² 当時の釜石鉱山（現：新日本製鉄釜石製鉄所）の生産量に比べると約4倍である。

使用する鉄鉱石の大部分が中国や東南アジアから供給されたので海上輸送によった。着岸した船の船槽に作業員が入り、鉄鉱石を専用の容器にスコップで積み込んだ。図3.2はその様子を示した写真である。そして鉄鉱石を入れた容器は船のデリック（起重機）や岸壁のジブクレーンで荷揚げした。

ジブクレーンとは1本の旋回および起伏可能な腕（ブーム）の先端から繰り出されたワイヤロープによって荷物を吊り上げる起重機であり、地面に固定された型式のものと、走行できる形式のものとがある。

デリックとは本体とは別に設置された原動機から繋がるいくつかのワイヤロープでブームを操作する起重機であり、旋回および起伏可能な腕（ジブ）の先端からワイヤロープで荷物を吊り上げる起重機である。図3.3はデリックの写真である。



図3.1 明治34年（1901年）創業時の官営八幡製鉄所
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

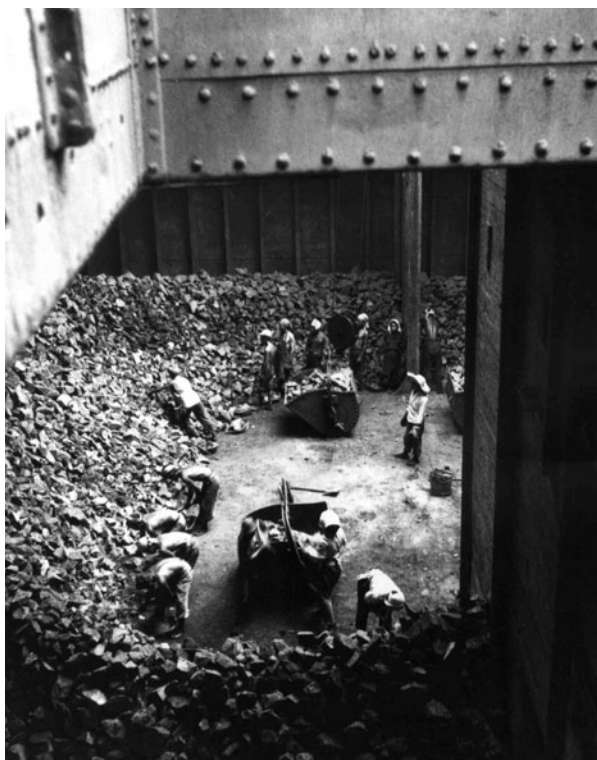


図3.2 鉱石を専用容器に人力で集積
出典：八幡製鉄八幡製鉄所編「八幡製鉄所五十年誌」³



図3.3 船に設置されたデリック
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

荷揚げした鉄鉱石は容器から貨車（または貨車に積むために設けられたホッパー）に積載された。

八幡製鉄所では燃料は当初から石炭である。石炭は遠賀川上流の筑豊炭田から川船または鉄道で運ばれた。川船の場合は船槽が浅いので図3.4のように天秤棒で担いで荷揚げしたり、図3.5のようにバケツリレーならぬ、ざるリレーで荷揚げした。荷揚げした石炭は貨車に積み込まれた。鉄道の場合は私設鉄道会社である九州鉄道（現：九州旅客鉄道）が貨車で構内まで直接搬入していた。

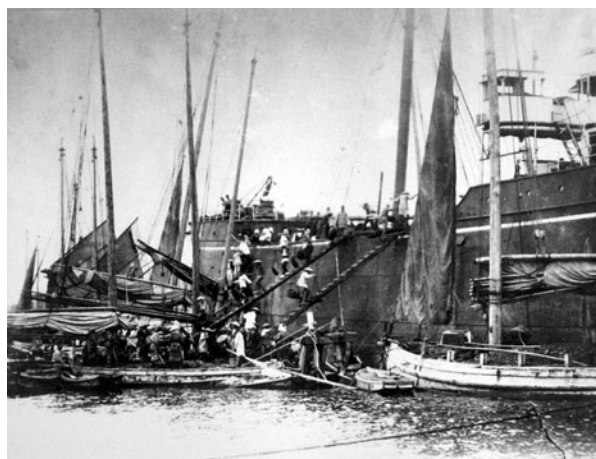


図3.4 石炭を天秤棒を使って荷揚げ
日鉄運輸倉庫蔵

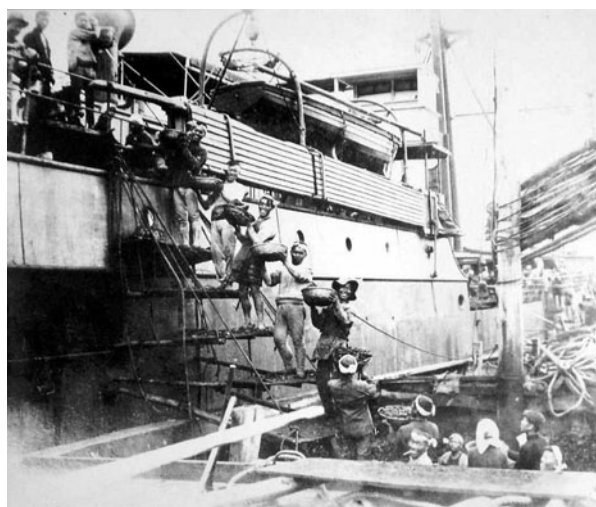


図3.5 石炭をざるリレーで荷揚げ
日鉄運輸倉庫蔵

貨車に積み込まれた鉄鉱石や石炭は鉄道でヤードと呼ばれる貯鉱場・貯炭場に運ばれた。牽引するのはドイツ製の蒸気機関車である。創立当初は全所で蒸気機関車8台、線路は22kmであった。⁴ 軌条が九州鉄道と接続されていたため、軌間は九州鉄道と同一の1,067mm（3フィート6インチ）に定め、現在もこれを踏襲している。図3.6は八幡製鉄所の所有する当時の蒸気機関車の写真であり、この機関車は明治22年（1889年）にドイツのクラウス社で製造されたものであると記録されている。明治22年といえは八幡製鉄所はまだなかった時代である。一方「機関車の系譜 2」⁵によれば九州鉄道が明治22年に国鉄10形蒸気機関車をクラウス社から5両購入している。その写真が図3.7である。図3.6と図3.7は同形の機関車の写真であり、八幡製鉄所の機関車は九州鉄道が購入した5両のうちの1両ではないかと考えられる。図3.6の機関車には日本製鉄の社章が付いている。明治40年（1907年）に九州鉄道が国有化され鉄道院（現：九州旅客鉄道）の所有



図3.6 官営八幡製鉄所のドイツ製蒸気機関車
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

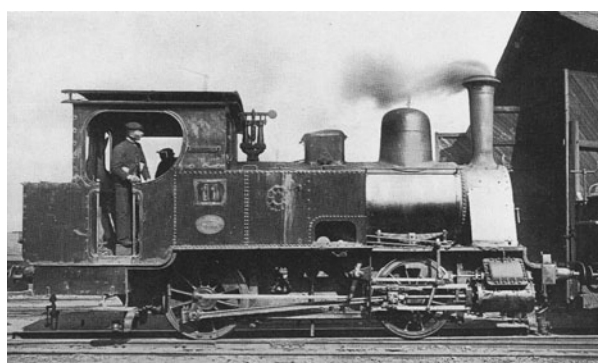


図3.7 九州鉄道購入のドイツ製蒸気機関車
出典：臼井茂信著「機関車の系譜図 2」

となったことにより、同じ官営の八幡製鉄所に配置換えが行われたものと考えられる。

渡辺肇著「日本機関車製造銘板・番号集成」⁶によれば、国産の機関車を最初に手掛けたのは汽車製造（現：川崎重工業）である。記録によれば明治34年（1901年）に台湾へ1号機が納入されている。そして国内の最初は明治35年（1902年）に北海道鉄道（北海道炭鉄鉄道か。とすれば現北海道旅客鉄道である）へ納入されている。製鉄業の関係には大正8年（1919年）に日本車輛製造から浅野製鉄所（現：JFEスチール東日本製鉄所京浜地区）および北海道製鉄（現：新日本製鉄室蘭製鉄所）に1台ずつ納入されている。

ヤードに到着した貨車からの荷の払い出しは貨車側壁の下部に設けられた扉を開いて行った。図3.8は釜石製鉄所のばら物運搬車である。また図3.9は川崎造船所（現：川崎重工業）から大正14年（1925年）に日本製鉄（現：新日本製鉄）へ納入された自走式鉱石運搬車の写真である。この車輛は走行用駆動装置を具備している。

このように横から払い出すためには貨車が高い位置にある必要がある。そのため線路は高い位置に設けられた。図3.10は官営八幡製鉄所の貯炭場に設けられた

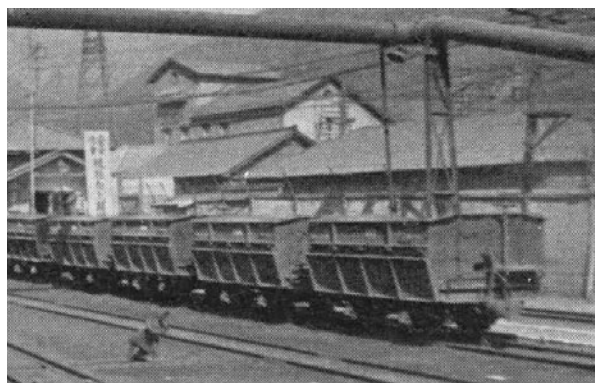


図3.8 釜石製鉄所のばら物運搬車
出典：日本製鉄株式会社史編集委員会編
「日本製鉄株式会社史」⁷

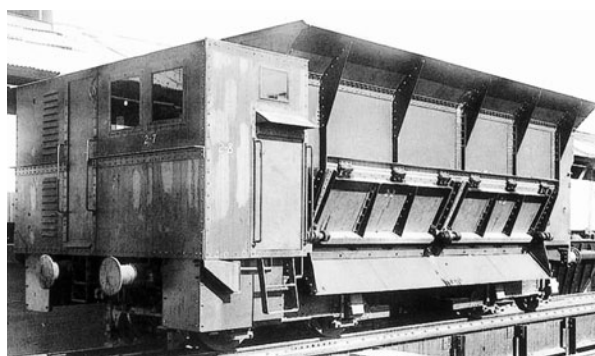


図3.9 日本製鉄の自走式鉱石運搬車
出典：川崎重工業株式会社車両カンパニー編
「未来へつづく100年の軌跡-兵庫工場100年史」⁸

明治45年（1912年）撮影の高架橋の写真である。そして高架橋の上から払い出された荷は高架橋の横に山のように積み上げられた。図3.11は明治42年（1909年）の官営八幡製鉄所の原料置場の写真である。



図3.10 貯炭場の高架橋
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

さらに次の工程に供給するために荷を切り出す時にはスコップと手押し車を使用して人力で貨車に積み込んだ。図3.12は大正元年（1912年）に官営八幡製鉄所の鉱石置場を撮影した写真でありこの状況がよくわかる。多くの製鉄所ではこの貨車による輸送が昭和30年



図3.11 東田鉱石置場

出典：八幡製鉄八幡製鉄所編「八幡製鉄所写真集」⁹



図3.12 鉱石置場

新日本製鉄八幡製鉄所蔵

代にコンベヤ輸送に変わるまで長期間続いた。

官営八幡製鉄所でも当初は原料を貨車輸送していた。図3.13は明治34年（1901年）作業開始当時の同所のレイアウト図である。図の中央上部に港があり、そこで荷揚げされた原料は貨車に積載され、製鉄所の周りを半周し図中央下部の鉱石置場・貯炭場まで運ばれる。先に述べたように原料を払い出す鉱石置場・貯炭

場では貨車は高い位置まで登らなければならない。さらにこの鉱石置場・貯炭場のあるところは高台になっていたため鉄道線路のこう配はかなり急なものであった。そして鉄鉱石を運ぶ場合は蒸気機関車2台を使用して運行したがそれでも機関車の故障が頻発した。

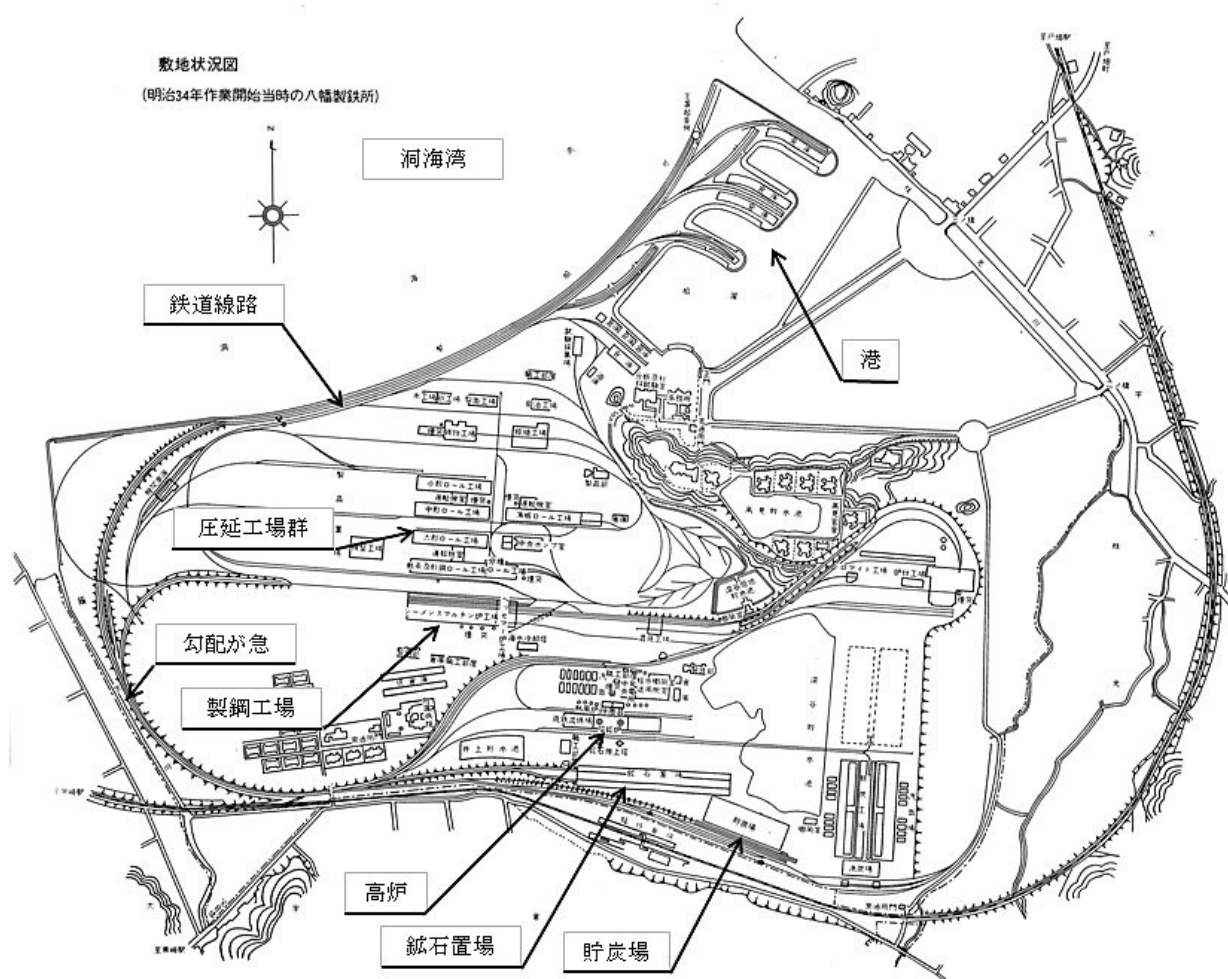


図3.13 明治34年（1901年）作業開始時の八幡製鉄所のレイアウト図

出典：新日本製鉄八幡製鉄所編「八幡製鉄所土木誌」¹⁰に付記

このため鉄鉱石を港から鉱石置場まで直接運ぶ方法が考えられた。空中索道¹¹の建設である。空中索道は鉱山では足尾銅山ほか何箇所かで使用されていた技術であり、現在ではスキー場のリフトに使われている。八幡製鉄所では大正6年（1917年）に完成している。図3.14がその全体写真であり、図3.15が鉱石を積載する容器である。空中索道には単一のロープで貨物を支持し牽引する単線式索道と、固定のロープで貨物を支持し別のロープで牽引をする複線式索道がある。詳しい記録が残っていないので詳細は不明だが写真からみると複線式索道であったと推察できる。この索道は大いに役立ったようである。

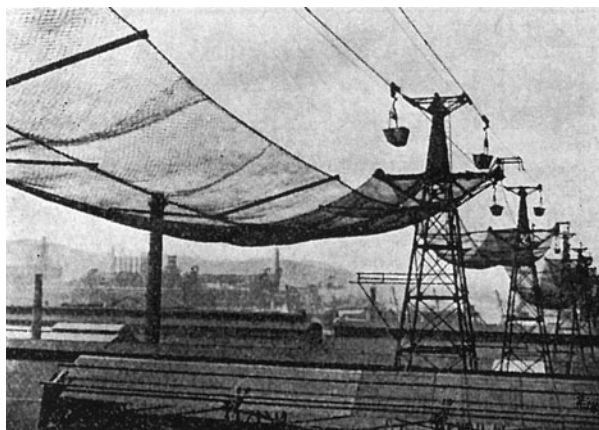


図3.14 八幡製鉄所の空中索道
出典：八幡製鉄八幡製鉄所編「八幡製鉄所五十年誌」¹²

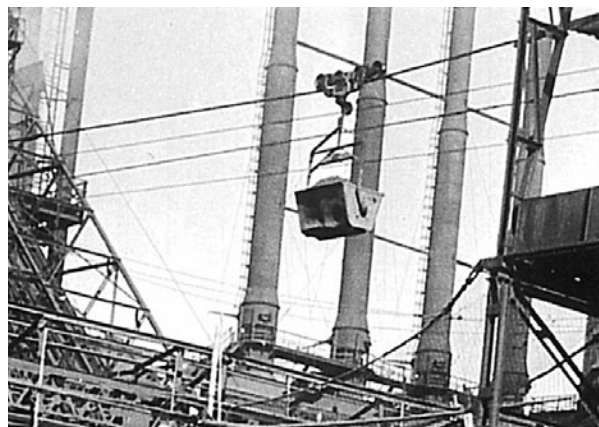


図3.15 空中索道の積載容器
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

3.2 グラブバケットアンローダ

原料の荷役も機械化が必要である。現在製鉄業の原料の入手は殆ど海外に頼っている。そのため原料の荷役を効率的に行うには原料岸壁に走行可能なクレーンが必要である。そしてジブクレーンのように旋回するクレーンでなく、水平にまた岸壁線に直角に移動する

吊具で荷役したいと望まれた。これを実現したのが橋形クレーンである。

菅原朝吉著「日本におけるクレーンの歴史」¹³によれば大正3年（1914年）に鉄道院（現：東日本旅客鉄道）蒲田発電所に2tonグラブ付マントロリ式橋形クレーンを石川島造船所（現：石川島運搬機械）が納入したが、これが日本における橋形クレーンの第1号機でありそれ以前にはばら物荷役クレーンの輸入はないはずであると記載されている。一方図3.16は新日本製鉄八幡製鉄所の橋形クレーンの写真であり、「牧山海岸鉱石起重機」1912年（大正元年）5月17日に撮影と記録されている。これによれば大正元年に橋形クレーンが存在していたことになり前の記述とあわないが、輸入されたものであろう。いずれにしても大正の初期に橋形クレーンが原料荷役のために建設されていたものと思われる。

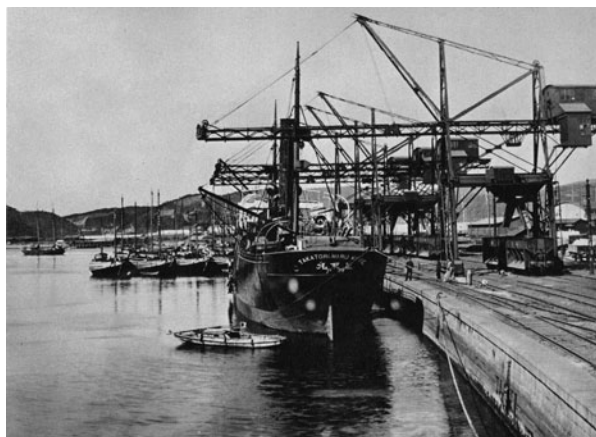


図3.16 八幡製鉄所 牧山海岸鉱石起重機
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

一方荷を持ち上げるための装置としてグラブバケットが開発された。ゲームセンターの「UFOキャッチャー」を大きくしたものである。前述の蒲田発電所の橋形クレーンにはこのグラブバケットが具備されている。

図3.16の八幡製鉄所橋形クレーンがグラブバケットを具備していたかどうかは明確でない。グラブバケットも橋形クレーンと同様に大正の初期に実用化されたものと推測される。

図3.17は現在使用している石炭荷役用のグラブバケットの写真である。グラブバケットは下降する勢いで先端が荷に食い込み荷をつかみとることができる。このグラブバケットは自重20tonで1回のつかみ量は25ton（33.5m³）である。新日本製鉄大分製鉄所のグラブバケットは鉱石用・石炭用とも自重42tonで1回のつかみ量は48tonである。

製鉄業における国産の橋形クレーンの第1号機は石川島造船所（現：石川島運搬機械）が製造し昭和3年（1928年）に釜石鉱山（現：新日本製鉄釜石製鉄所）



図3.17 石炭用25tonグラブバケット
新日本製鉄八幡製鉄提供

に納入したロープトロリ式マントロリ橋形クレーン（グラブバケット付）である。図3.18はその全体組立図である。

橋形クレーンにおいて吊り荷を運搬し巻き上げ下げする方式にはクラブトロリ式とロープトロリ式の2種類ある。さらに運転室がトロリに取り付けられているものをマントロリ形という。図3.19はクラブトロリ式概念図である。クラブトロリ式はトロリ上に巻き上げ装置、横行装置の駆動部を設置し吊り荷をワイヤロープで直接巻き上げるものである。図3.20はロープトロリ式概念図である。ロープトロリ式は巻き上げ装置、横行装置の駆動部をトロリ上に設けずにクレーン本体

の機械室に設置したもので、図のようにワイヤロープを配置することによりトロリ横行時も吊り具の高さが変わらないように配慮されている。

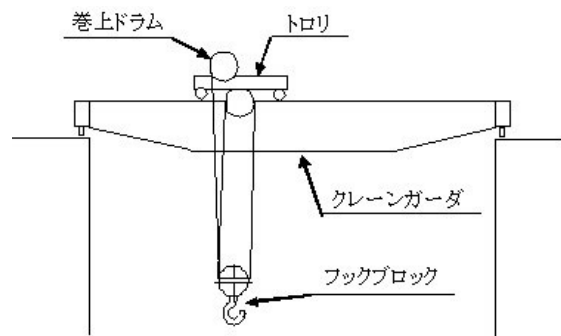


図3.19 クラブトロリ概念図

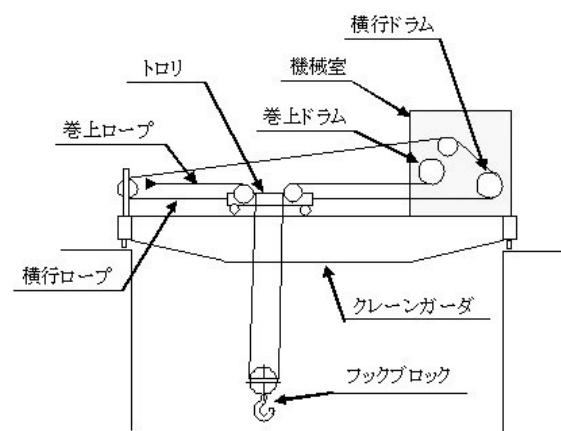


図3.20 ロープトロリ概念図

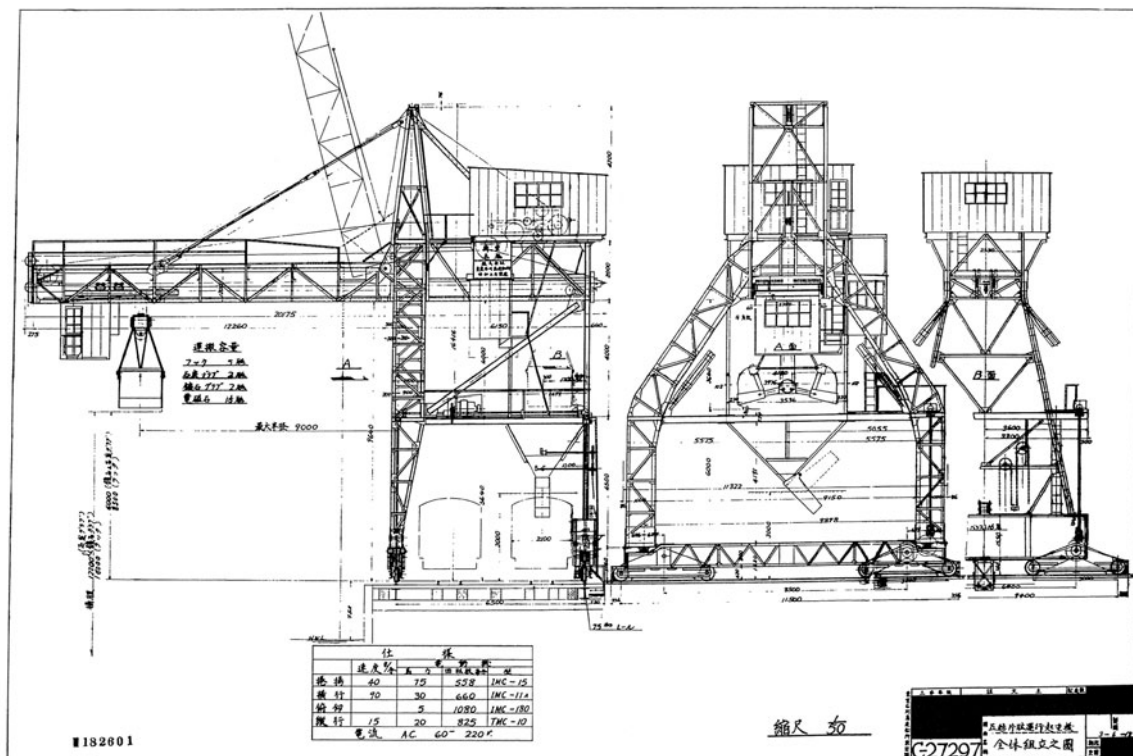


図3.18 釜石鉱山 5tonロープトロリ式マントロリ橋形クレーン全体組立図
石川島運搬機械蔵

天井クレーンではクラブトロリ式が一般的であるが、グラブバケット式アンローダでは横行桁が片持ちになっているためトロリの重量が軽くなるローブトロリ式が多い。しかしながらローブトロリ式にはワイヤロープの磨耗が大きく横行時の荷振れが大きいなどの欠点がある。

グラブバケット式アンローダのバケット開閉操作は、古くは1台の電動機でボックスウインチという特殊な減速機を介して、巻き上げ支持ドラム、開閉ドラムの2個のドラムを駆動して行っていた。クレーンが大型化・大容量化した現在は巻き上げ支持ドラムと開閉ドラムをそれぞれ別の2台の電動機で駆動し、吊り荷を掴んで巻き上げるときはグラブバケットと吊り荷の合計重量をこの2台の電動機が一緒になって助け合いながら巻き上げる制御をしている。

撮影時期が明確でないが図3.21は石炭運搬船よりグラブバケットを用い橋形クレーンで石炭を荷揚げしている写真である。船内にある石炭をグラブバケットでつかみ、陸側のホッパーに入れる。ホッパーの下には鉱石石炭搬送用の貨車が待機しており、貨車はホッパーから石炭を受け原料ヤードまで運ぶ。各製鉄所ではこのようなグラブバケット式アンローダを設置していった。

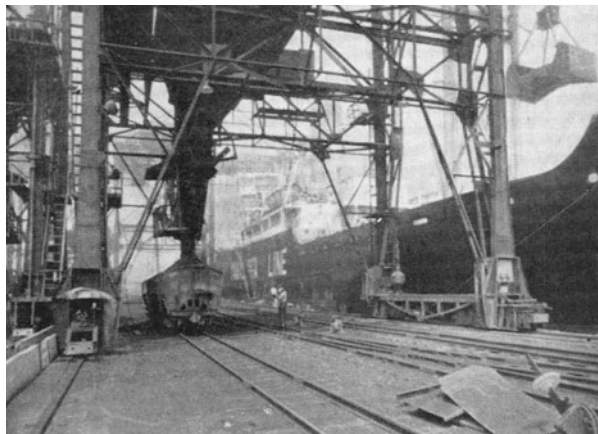


図3.21 釜石南栈橋の石炭荷役
出典：日本製鉄株式会社史編集委員会編
「日本製鉄株式会社史」¹⁴

鉱石や石炭を運ぶ船が近年大型化するとともに大きな処理能力が要求されるため、クレーンも大型化している。処理能力はクレーンの諸元だけでは決まらない。大型船から荷役する場合、岸壁より遠いところにある荷を処理するときは水平移動距離が長くなる。また船底の荷を処理する場合は鉛直移動距離も長くなる。その場合サイクル時間が長くなり能力値が低下する。逆に小さい船から荷役する場合は処理能力が高くなる。

図3.22は三菱重工業から昭和58年（1983年）に新日

本製鉄名古屋製鉄所に納入されたグラブバケット式アンローダで、大型船の荷役をすることを基準にして公称能力2,800t/hとしている。これは当時として日本で最大級の橋形アンローダであった。



図3.22 名古屋製鉄所 2,800t/hアンローダ
三菱重工業広島製作所蔵

岸壁クレーンにはジブクレーンや橋形クレーンのほかに水平引込クレーンがある。

ジブクレーンでは吊り上げた荷をクレーンに近づけたり遠ざけたりするときはジブの傾きを変更する。そのときにはジブ先端の高さが変わるので荷の高さも変わることになる。荷を遠くに動かそうとするときはジブを寝かせる方向に動かさなければならず、荷の高さは低くなる。荷を水平に動かすためには荷を巻き上げる必要がある。操作が難しい。

石川島造船所（現：石川島運搬機械）の南里竹一はこの問題を解決する水平引込クレーンを開発した。この水平引込クレーンを南里式（または石川島式）といい、昭和2年(1927年)に東京瓦斯大森製造所に納入された80t/h水平引込式ローブトロリ半門形クレーンはこの構造の第1号機である。¹⁵ 図3.23はその写真である。製鉄業には昭和10年(1935年)に日本鋼管（現：JFEスチール東日本製鉄所京浜地区）に水平引込式ローブトロリアンローダが納入された。この写真を図3.24に、全体組立図を図3.25に示す。

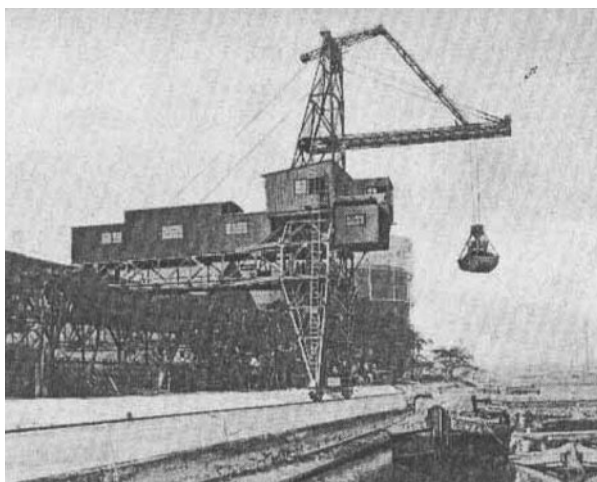


図3.23 東京瓦斯 水平引込クレーン
石川島運搬機械蔵

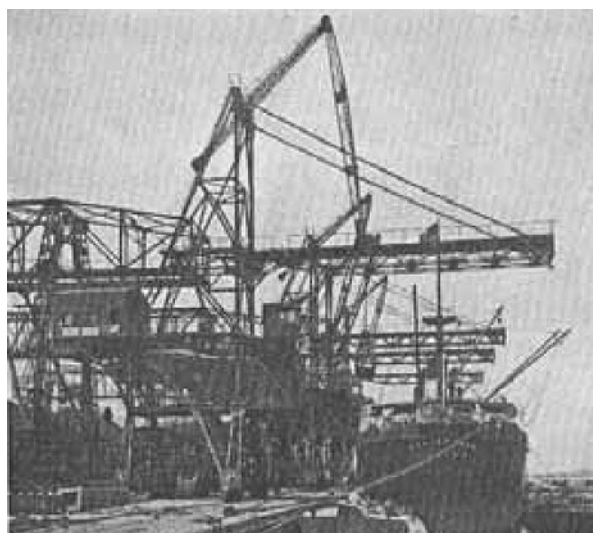


図3.24 日本鋼管
2.5ton水平引込式ロープトロリアンローダ写真
石川島運搬機械蔵

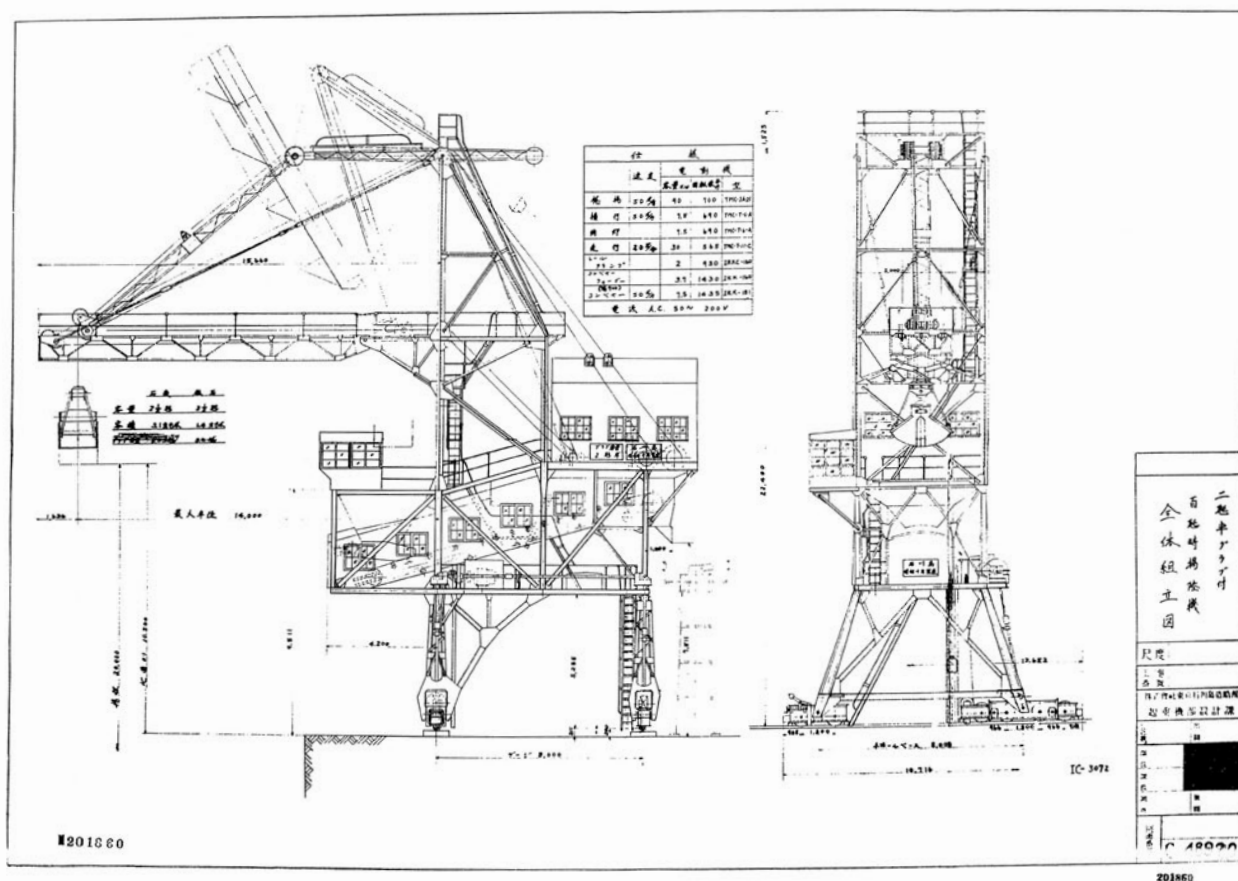


図3.25 日本鋼管 2.5ton水平引込式ロープトロリアンローダ全体組立図
石川島運搬機械蔵

南里式水平引込クレーンではグラブバケットは水平
ビーム上を横行するトロリに保持される。バケットを
保持するワイヤー、バケットを開閉させるワイヤーとも
トロリに連結する2本の腕を経由している、トロリ
の位置が変わってもワイヤー長さが変わらず、バケッ
ト高さおよび開閉に関係ないので作業面で大きな利

点がある。さらに荷の高さが変わらないということは
高さエネルギーが変わらず動力面からも有利である。

この方式の水平引込クレーンは昭和17年（1942年）
まで多数製作されるが、次に述べるダブルリンク式水
平引込クレーンに取って代わられた。

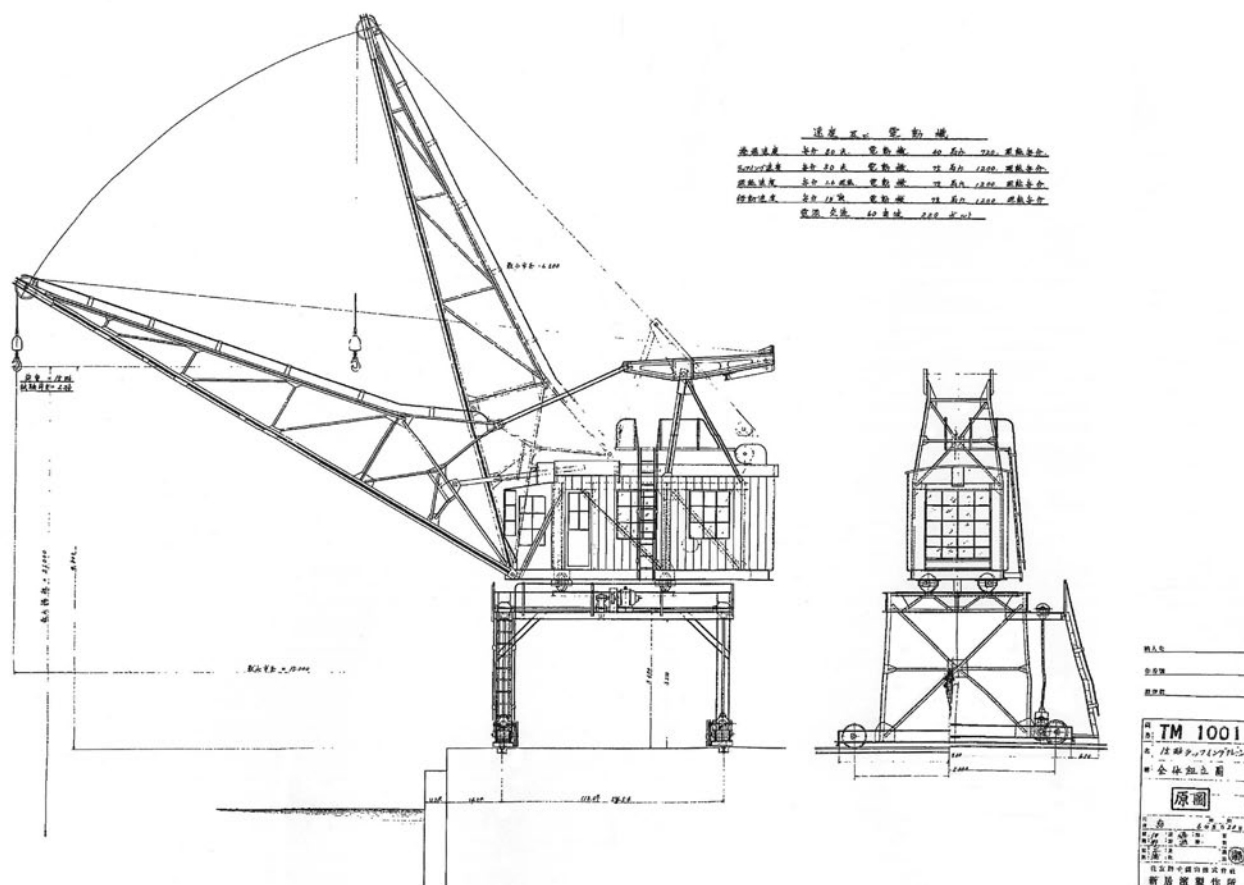


図3.26 住友倉庫水平引込クレーン設計図
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

住友別子鉱山新居浜製作所（現：住友重機械エンジニアリングサービス）は昭和6年（1931年）ドイツのDEMAG社と技術提携をし、5種類の水平引込クレーンを技術導入している。そして第1号機を住友倉庫に昭和6年に納入した。その設計図を図3.26に示す。このクレーンはスイングレバー式水平引込クレーンである。ジブクレーンのようなが、ワイヤロープを後方のレバーを経由することでブームを起伏したとき荷物の高さは変わらないという特徴を持つ。荷物の高さは変わらないが、ブームを立てたときワイヤロープの長さが長くなり荷物が振れやすくなるという欠点がある。しかし構造が簡素であり安価であるという利点がある。製鉄業関係では昭和8年（1933年）にこの形式の水平引込クレーンを日本製鉄（現：新日本製鉄）八幡製鉄所に納入している。八幡製鉄所では原料の荷役が戸畑地区に移り八幡地区では原料荷役を行わなくなったためこの設備は後年廃棄された。

住友別子鉱山新居浜製作所はダブルリンク式旋回形水平引込クレーンもDEMAG社からスイングレバー式と同時に技術導入している。図3.27がダブルリンク式旋回形水平引込クレーンの俯瞰図である。図3.28にそ

の原理を示す。部材Ⅰおよび部材ⅡはそれぞれAおよびBを支点として傾動可能となっている。部材Ⅲは部材ⅠのACと同じ長さであり節点Cで部材Ⅰとつながっており回転可能となっている。さらに部材Ⅲ上の節点Dで部材Ⅱの端部とつながっておりここも回転可能となっている。そして部材ⅢのCと反対側の端Eで搬送物を吊り上げる。部材Ⅰの支点A側を延長してカウンターウエイトを取り付けてある。部材Ⅰ及び部材Ⅱを傾動させると図のように吊り点Eはほぼ水平に移動する。吊り点Eの動きは厳密には水平でないが、部材Ⅲの上で節点Dを上手に選択することで作業上問題のない高さ変動に抑えることができる。さらに吊り点Eを移動させてもワイヤー長さが変わらないことも大きな利点である。

側)にも払い出しできる

- ③ 軽量であり本体コストの低減ができるとともに岸壁強度面でも安価設計できる。
- ④ グラブをフックに付け替えることでフック荷役も可能である。

鉄鉱石の荷役にもこの形式のクレーンを採用する場合があります、700t/hの荷役能力を持つものもある。最近設置された例としては平成10年(1998年)に200t/hのコークス荷役用の水平引込クレーンが神戸製鋼所横浜に納入されている。図3.30はこのダブルリンク式水平引込クレーンの写真である。



図3.30 神戸製鋼所横浜 水平引込クレーン
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

3.3 ベルトコンベヤ時代

鈴木光他著の「ベルトコンベヤの計画と管理」¹⁶⁾によるとアメリカの科学者オリバー・エバンズが現在のベルトコンベヤやバケットエレベータに近いものを1795年に発表している。これが現在に残る最も古い記録とされている。そしてイギリスの技師ライスタが1866年に2プライの帆布入りゴムベルトコンベヤを運転した。

同書によると国産ベルトコンベヤ第1号機が住友金属四阪島(別子銅山四阪島銅精錬所、現:住友金属鉱山)高炉のかすとりベルトコンベヤとして大正8年(1919年)に設置された。¹⁷⁾

IHIの運搬機部門を継承する石川島運搬機械には当時の石川島造船所が大正12年(1923年)以降に石炭や肥料を運ぶ数多くのベルトコンベヤを納入した実績の記録が残されている。大正12年以前の記録は関東大震災で消失したため残念ながら残っていない。

この石川島造船所では昭和4年(1929年)に釜石鉱山(現:新日本製鉄釜石製鉄所)にスチールベルトコンベヤを納入した実績が記録されている。長さ約50mのコンベヤが3台である。スチールコードベルトはまだ開発されてない時代であるので、スチールベルトとは薄い鋼板をゴムベルトの代わりに使ったベルトであると推測される。スチールベルトコンベヤは搬送途中掻き板で搬送物を掻き落とすことができるなどという利点がある。昭和9年(1934年)の製鉄大合同(日本製鉄発足)の前なので、釜石鉱山は鉱山部門と製鉄部門があったわけでこのコンベヤがどちらに使われたかは不明である。

同じく石川島造船所の記録には昭和10年(1935年)に日本鋼管に2台納入されたとあるが、これは現在のJFEスチール東日本製鉄所京浜地区のどこかであろう。100t/hアンローダの機内コンベヤであり機長11.4mである。

また石川島造船所の記録には昭和12年(1937年)日本製鉄室蘭(現:新日本製鉄室蘭製鉄所)にコンベヤを計7台納入と記載してある。長さが63.9m 1台、85.8m 1台、125m 2台があり地上コンベヤを含むコンベヤシステムであったと思われる。合計約400mあるのでこれでヤード近辺まで運びあとは人力と手押し車でヤード全体に広げたのでないかと推察される。このコンベヤシステムは第二次世界大戦以前にはあまり普及せず多くの製鉄所が貨車輸送のままであった。

コンベヤによる輸送体制は原料ヤードに積み付けるスタッカとそこから払いだすリクレーマの開発により確立された。

ヤードに荷を積み付けるスタッカ機能と荷を払い出すリクレーマ機能の備わった新しいコンベヤシステムの第1号機は三井鉱山(現:三井三池製作所)が昭和29年(1954年)に自社の三池鉱業所に設置したものである。スタッカとはヤードの任意の位置に搬送物を積み付けられる設備であり、ヤードから荷を掻き取りコンベヤに払い出す設備がリクレーマである。

八幡製鉄(現:新日本製鉄)八幡製鉄所は戸畑地区に本格進出するにあたって原料ヤードを建設し昭和33年(1958年)からコンベヤシステムを導入した。これが製鉄業において原料運搬コンベヤ大形化の第1号である。¹⁸⁾ 図3.31は昭和37年(1962年)における戸畑地

区の原料ヤードの写真である。そして図3.32は昭和34年（1959年）に三井鉱山から八幡製鉄所に納入されたスタッカの写真である。



図3.31 昭和34年の戸畑原料ヤード
新日本製鉄八幡製鉄所蔵



図3.32 八幡製鉄所戸畑スタッカ
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

スタッカの概念図を図3.33に示す。スタッカはヤードに搬入するベルトコンベヤに設けたトリップで搬送物を受入コンベヤより払い出し、この搬送物をスタッカの機内コンベヤで受けヤードの任意の位置に積み付けるものである。図の右側のコンベヤがトリップであり、受入コンベヤは原料ヤードの横に全長にわたって敷設されている。左側のコンベヤがブーム上の機内コンベヤであり、起伏と旋回ができるようになっており搬送物を任意の位置に積み付けることができる。

この方式は比較的容易に考え出され、現在もこの方式が使われている。図3.34が最近のスタッカの写真である。

課題は払い出し方式であった。従来方式のトランスポート（グラブバケット付門型クレーン）はグラブバケットによるバッチ運転であり処理量増大が困難であ

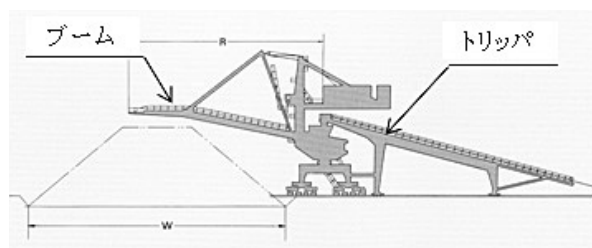


図3.33 スタッカ概念図
出典：三菱重工業カタログに付記



図3.34 最近のスタッカ（石炭用1,350t/h）
三井三池製作所提供

るとともに、設備費が高く地耐圧の低い軟弱地に建設が不向きな点で採用できない。その数年前から炭鉱の坑内で石炭を炭車やコンベヤに積み込むためにフェースローダが使われていた。図3.35がフェースローダである。このフェースローダをブームの先端に装着してはどうかという発想が湧いた。30mもの長いブームの先端に掻き寄せ装置を取り付けてはたして役に立つかという懸念があったが、設計通りの能力が出ることが確認でき第1号機が前述の通り三井鉱業所に納入されている。



図3.35 フェースローダ
三井三池製作所蔵

このリクレーマは2本の腕で荷を掻き寄せチェーンコンベヤまたはベルトコンベヤで機内コンベヤに載せる構造になっている。図3.36は前述の三井鉱山のスタッ

カとジブローダの写真であり、手前の機械がジブローダ、奥の機械がスタッカである。



図3.36 三井鉱山のジブローダとスタッカ
三井三池製作所蔵

製鉄業がこのジブローダを最初に導入したのは神戸製鋼所神戸製鉄所である。神戸製鉄所は昭和33年（1958年）に三井鉱山（現：三井三池製作所）からジブローダを3台購入している。引き続いて各製鉄所がスタッカとともにこのジブローダを導入し原料ヤードの近代化に大いに役立った。八幡製鉄（現：新日本製鉄）八幡製鉄所戸畑地区には昭和34（1959年）年から昭和40年（1965年）までに11台が三井鉱山から納入されている。図3.37はそのうちの1台の写真である。

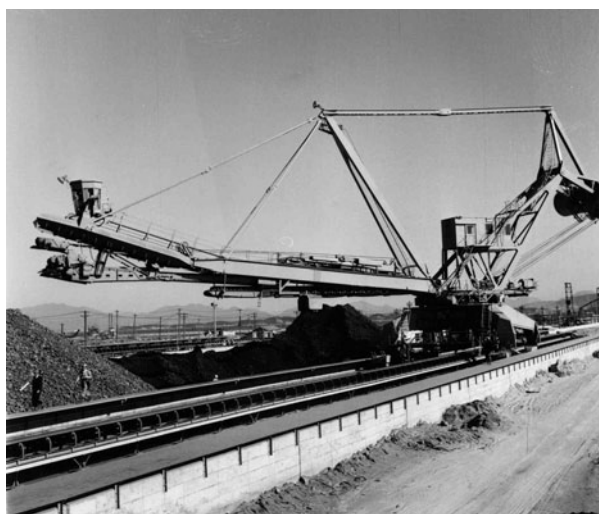


図3.37 八幡製鉄所戸畑ジブローダ
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

このジブローダの荷役能力は通常600t/h以下であり、もっとも能力の高いのは石炭用900t/hジブローダである。ジブローダは次に述べるバケットホイール式リクレーマに取って代わられるが、コンパクトで操作性がよいこともあり、次のジブローダは現在も稼働中である。（いずれも三井鉱山製）

・昭和35年（1960年）住友金属工業和歌山製鉄所に

設置のジブローダ

- ・昭和36年（1961年）富士製鉄（現：新日本製鉄）室蘭製鉄所に設置のジブローダ
- ・昭和37年（1962年）日新製鋼呉製鉄所に設置のジブローダ

一方、石川島重工業（現：石川島運搬機械）はヨーロッパの石炭の露天掘りに使用している機械からバケットホイール式のリクレーマを考案した。1号機は昭和33年（1958年）に福岡県の荊田港に納入された300t/hのリクレーマである。

図3.38はバケットホイール式リクレーマの概念図である。左端のバケットホイールを回転させることで山から荷を切り出し、ブーム上の機内コンベヤで紙面直角方向に配置された払出しコンベヤに払い出すものである。

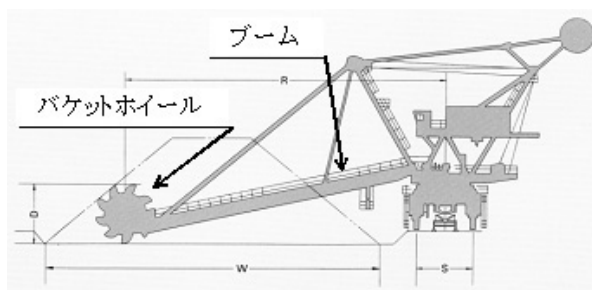


図3.38 バケットホイール式リクレーマ概念図
出典：三菱重工業カタログに付記

製鉄業としては昭和38年（1963年）に東海製鉄（現：新日本製鉄名古屋製鉄所）に納入された650t/hリクレーマがバケットホイール式の最初である。この写真を図3.39に示す。



図3.39 名古屋製鉄所バケットホイール式リクレーマ
石川島運搬機械蔵

以後構造が簡単で高能率化が可能なバケットホイール式リクレーマを各社が製作し主役が換わった。世は正に大量生産が要求される時代に突入し、大型製鉄所の建設が各地で行われこのバケットホイール式リクレー

マは多数建設された。図3.40が最近のバケットホイール式リクレーマの写真である。

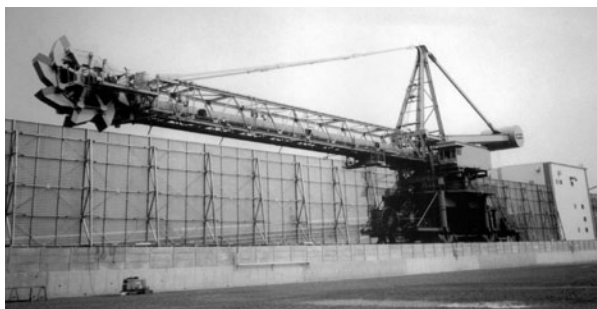


図3.40 最近のリクレーマ（石炭用1,000t/h）
三井三池製作所提供

原料ヤードのレイアウトからスタッカやリクレーマの台数や配置を決める。スタッカおよびリクレーマの稼働率が低く共用しても問題ない場合は1台で両方の機能を持つスタッカリクレーマを設置すると設備費を節約できる。図3.41に最近のスタッカリクレーマの写真を示す。



図3.41 最近のスタッカリクレーマ
（石炭用 積み付け5,000t/h、払い出し1,000t/h）
三井三池製作所提供

コールセンターの場合など、積み付けが船からの受け入れであり、払い出しが船への積み込みである場合には、これらが重なることを避けられるので1台の機械が両方の機能を併せ持つことは非常に合理的である。

スタッカの能力の限界を決める要因の一つにベルトコンベヤの搬送能力がある。ベルトコンベヤの搬送能力は主にベルト幅と搬送速度によって決まる。

このほかにベルトコンベヤで重要な仕様の一つに機長がある。ベルトコンベヤで長距離を輸送する必要があるとき乗継回数をできるだけ少なくしたい。アンローダの走行範囲ではアンローダから荷を払い出すシュートがコンベヤ上を移動するため、その範囲に乗継部を設けることは構造上難しく乗継部を設けることを避けたいなどの要求がある。これらの要求からコンベヤの機長を長くすることが必要となる。機長を長くすると1本のベルトコンベヤの総搬送重量が大きくなりベルト張力が大きくなる。そのためコンベヤベルトの耐強

度を高くする必要があるが、コンベヤベルトの耐強度を向上させるには心体の材質が重要である。

コンベヤベルトの耐強度を高くするために心体を多層にする。図3.42にその構造の概念図を示す。初期のコンベヤベルトの心体は綿帆布であった。昭和32年（1957年）からビニロン帆布が使用されたが、昭和34年（1959年）にブリヂストンタイヤ（現：ブリヂストン）からナイロン帆布ベルトが製作されてこれが市場を独占した。¹⁹

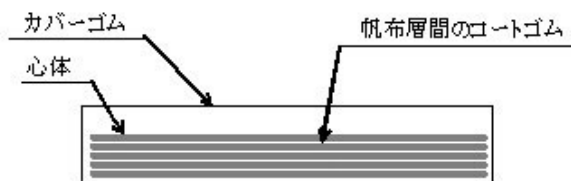


図3.42 帆布ベルト構造概念図

さらにコンベヤベルトの強度を上げるためにスチールコード入りのベルトが開発された。その構造の概念図を図3.43に示す。この考えは1938年（昭和13年）に提唱され、1946年（昭和21年）アメリカではじめて使用された。²⁰ わが国で初めてスチールコードベルトが製作されたのは昭和38年（1963年）夕張炭鉱の坑外コンベヤである。²¹ このベルトは横浜ゴムが製作したものであった。現在多数の長機長コンベヤがあり、機長が3,000mを超えるものもある。

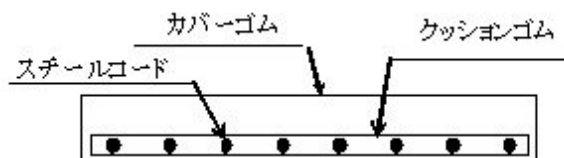


図3.43 スチールコードベルト構造概念図

日本鉱業会コンベヤ研究委員会編「新ベルトコンベヤの計画と管理」によると、たとえばベルト幅900mm、ベルト速度180m/min、運搬量1,800t/hの乗り継ぎなし水平コンベヤの場合、強度面から見て可能な最長機長は綿帆布ベルト600m、ビニロン帆布ベルト3,800m、ナイロン帆布ベルト4,800m、スチールコードベルト15,500mであり、スチールコードベルトはナイロン帆布ベルトの約3倍の強度がある。²² さらにナイロン帆布ベルトには張力がかかったときの伸びが大きいという欠点があり、機長の長いコンベヤではベルト緊張装置のストロークを大きくする必要がある。これを嫌うとともに強度の面から昭和40年代から50年代にはスチールコードベルトが多く使われた。

コンベヤは長期に使用するとカバーゴムが摩耗し心

体が露出するようになりベルトを取り換える必要が生じる。廃棄した帆布ベルトは簡単でないにしても切断が可能であり、リユースや焼却の道がある。しかしながらスチールコードベルトは廃棄しようとしてもスチールコードが邪魔をして切断が非常に困難である。焼却するにも焼却炉に入れるため切断等の処理が必要である。

一方帆布ベルトの心体としてポリエステルが開発され昭和56年（1981年）頃実用化された。強度はナイロンベルトと同等であるが、弾性伸びがナイロンの0.3～0.6%に対しポリエステルは0.2～0.5%と少なくなった。そして製鉄業におけるベルトコンベヤは2,000m以下がほとんどであり、必ずしもスチールコードベルトにする必要がなく最近ではスチールコードベルトの使用を避ける場合が多くなっている。

前述の図3.31の原料ヤードの写真で見ると原料ヤードは鉱石を貯蔵する区域、石炭を貯蔵する区域、焼結鉱を貯蔵する区域等に分けられているとともに、それぞれの区域に受け入れのコンベヤと払い出しのコンベヤが交互に配列されている。そして受入コンベヤにはスタッカ、払出コンベヤにはリクレーマが配置されている。製鉄所では多くの原料を必要とする上に、それらを海外に依存しているため原料採掘場や海上輸送における不慮の事故の際も原料切れがないよう多くの原料を備蓄する必要がある。そのため原料ヤードの面積は非常に広大となっている。

スタッカおよびリクレーマはそれぞれに運転台があり、それぞれの機械に運転者が1名常時乗り込み運転をしていた。しかしそれぞれの機械に乗務しなくても運転ができないかという検討がなされた。スタッカは積み付けるだけなので昭和50年（1975年）代の早い時点で運転者が最初の位置設定を現地で行えばあとは自動で積み付けを行えるようになった。この頃テレビジョン技術はあったが、画像情報をケーブルで集中運転室まで送ることができず、集中運転室では機械の位置や姿勢を示す信号情報のみしか得られなかった。

画像情報をロータリーカップリングを経由してケーブルで送る技術が開発されて初めてテレビジョンによる遠隔監視運転ができるようになった。スタッカ、リクレーマとも昭和60年（1985年）頃、原料ヤードのコンベヤ群を集中運転する運転室から遠隔自動運転ができるようになった。最初の機械のセッティング作業から遠隔操作ができその後は数個のテレビ画面を監視するだけでよかった。遠隔操作にすると複数の台数の荷役機器を1人の運転者が操作できるようになり要員の合理化につながった。

製鉄所では原料の保管を原料ヤードに野積みするこ

とで行っている。一方火力発電所では屋内保管が進んでいる。原料ヤードに野積みすると風により飛散し周辺地域への粉塵公害という問題がある。製鉄所は通常広大な敷地を持っており、原料ヤードが市街地から遠いことが多く、大きな問題になっていなかった。しかし一部の製鉄所では問題視されつつある。

火力発電所では敷地面積が製鉄所ほど大きくないため、原料保管場所が市街地に近くなることが多く環境問題が取り上げられ易い。また新規に発電所を設置する場合には環境アセスメントで問題となる。そのため何らかの対策が必要である。

平成初期に新設された火力発電所では石炭ヤードの周囲に15mを超えるネットフェンスを巡らせ風による飛散を防止した。近年の火力発電所ではさらに環境対策を徹底し屋内貯蔵にする場合が増えている。その貯蔵方式は大きく分けて建屋式、ドーム式とサイロ式に分類される。しかしながら敷地条件、貯蔵量をはじめとするユーザーの希望によりその様式はさまざまであり、その都度それぞれの要望に合った設計がされているのが現状である。そのいくつかを紹介する。

建屋式、ドーム式はヤードに屋根を設置したものである。図3.44は建屋式貯炭設備の一例である。屋根型の建屋の中央頂上部に長手方向に設置された受入コンベヤで石炭を受け入れ、建屋内に長手方向に積み上げ山を作る。払い出しは山の両側に設置した軌条の上を走行するガーダに設けられた起伏式のスクレーパで荷を両側に切り崩し、山の両側に設置された払出コンベヤに落とし込むことで払い出しをするものである。

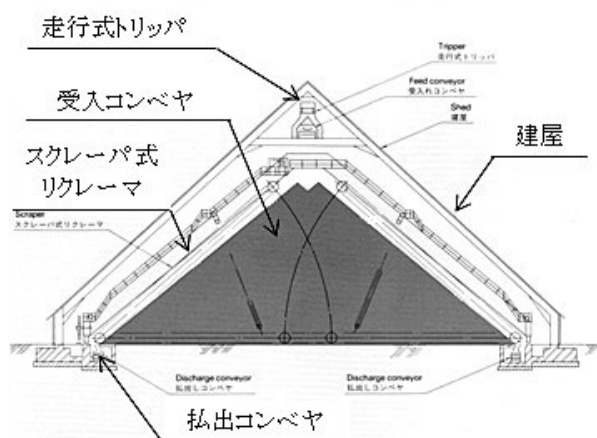


図3.44 建屋式貯炭場構造図
出典：三菱重工業カタログに付記

図3.45はこの方式を具体化した設計図である。この設備ではリクレーマは設置されておらず、貯炭場の横に設けられた投入口にショベルカーで荷を投入することで払出コンベヤに載せ払い出すものである。

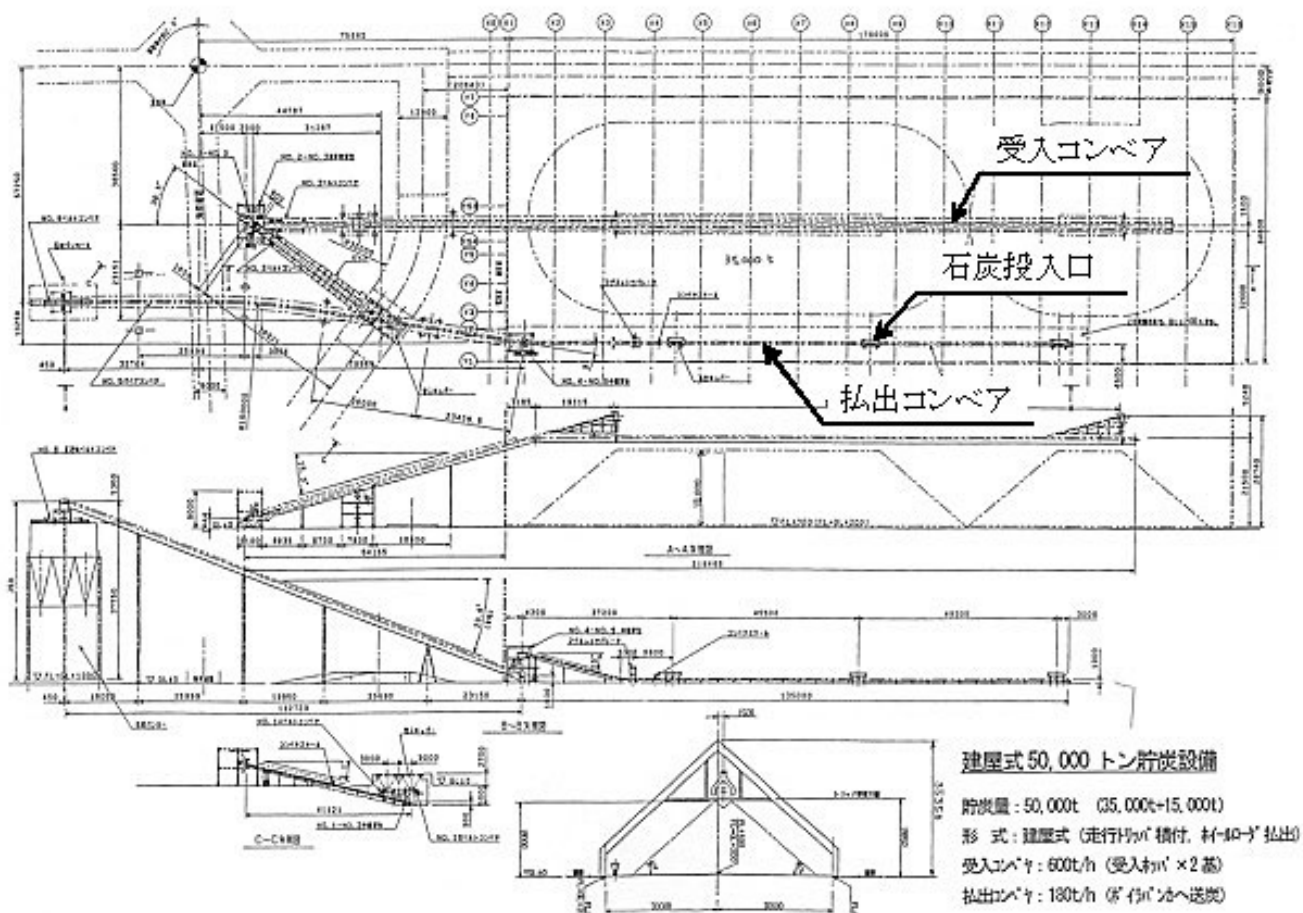


図3.45 建屋式貯炭場の設計図例
 三菱重工業広島製作所蔵

図3.46も建屋式貯炭設備の例である。貯蔵場所をプール型にしている。この方式でも建屋の中央頂上部に長手方向に設置された受入コンベアで石炭を受け入れるが、この方式では受け入れた荷をスタッカで受けることで、幅方向に均等に積み付けることができるようにしている。払い出しはプールの上部に設けた走行できるガーダ上を横行するバケットチェーンで行う。バケットチェーンで掻き揚げた荷をガーダ上の機内コンベアで走行軌条側に運び、走行軌条の横に設けられた払出コンベアに払い出すものである。この図では掻き揚げる機械がバケットチェーンであるが、バケットホイールでも可能である。この方式は図3.44の方式に比べると貯蔵効率は高くなるが単位長さ当たりの設備費が高くなる。

図3.47はドーム式貯炭設備の一例である。受入コンベアでドーム中央頂上部に荷を受け入れ、これをドーム中央の柱を中心に回転するスタッカで荷を積み付ける。払い出しはスタッカ同様に中央の柱を中心に回転するリクレーマで荷を掻き揚げ切り出しをする。掻き

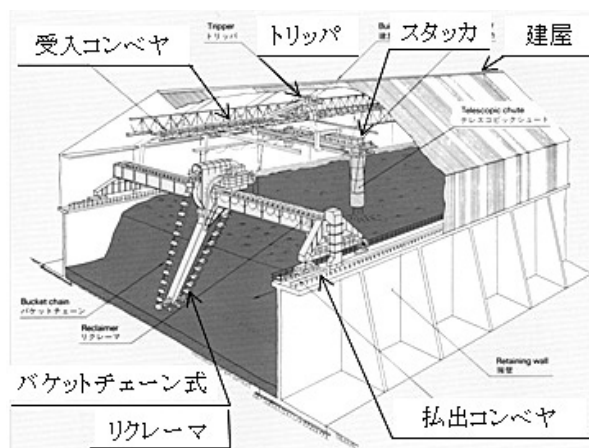


図3.46 プール型建屋式貯炭場構造図
 出典：三菱重工業カタログに付記

揚げ装置は図3.46と同様の考え方でよい。掻き揚げた荷はリクレーマ内の機内コンベアでドーム中央に運ばれ中央最下部から地下コンベアで払い出される。ドーム式の貯炭設備ではドームの内径120m、中央の高さ49mのものが設置されている。

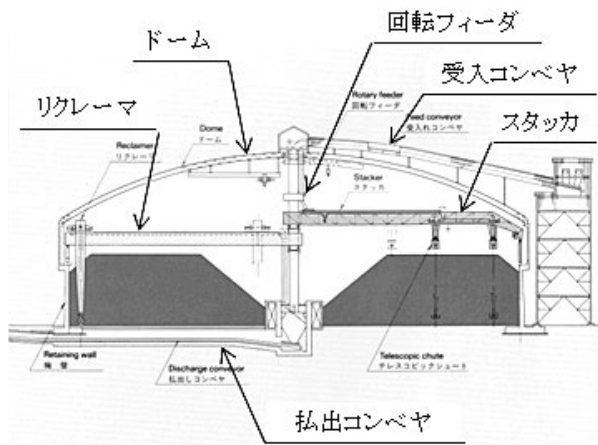


図3.47 ドーム式貯炭場構造図
出典：三菱重工業カタログに付記

サイロ式の貯蔵装置はホッパーと呼ばれる貯蔵装置を大型化したものである。ホッパーは排出性を良くするため円錐形にすると良い。しかし大きな円錐形にすると貯蔵効率が悪くなるのでいろんな工夫がされている。

図3.48は神戸製鋼所神戸製鉄所に設置されたペレット貯蔵装置である。4,400m³の塔体8基からなっている。それぞれの塔体の底面に6個の排出口が設けられており、ここから払い出された荷はその下に設けられた払出コンベヤで次設備に運ばれる。ペレットは流動性が良いため、排出口を平底に直接設けている。

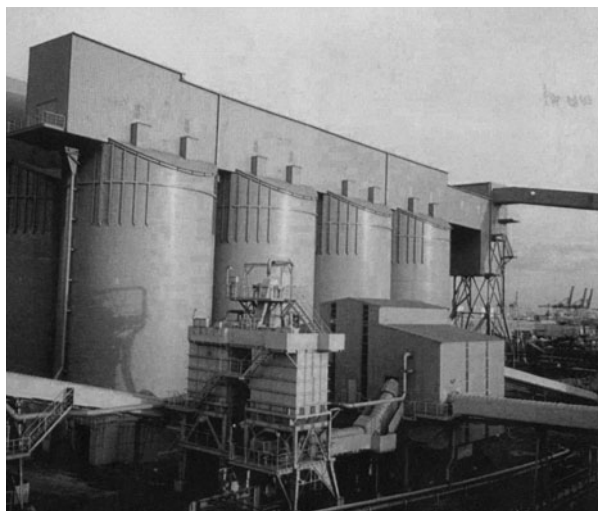


図3.48 ペレット貯蔵サイロ
三菱重工業広島製作所蔵

多くの荷はペレットほど流動性が良くないので排出機構に工夫を要する。図3.49は電源開発石川発電所に昭和61年（1986年）に設置されたサイロ式貯蔵装置の模式図である。4槽のサイロが1列に並んでおり最下部から荷の石炭を払い出している。1槽31,000tonであり合計約124,000tonの石炭を貯蔵する能力を持っている。受入コンベヤで各槽上部に運ばれてきた石炭は各槽の中心軸を中心に旋回する積付機で槽内に積み込まれ

る。払い出しは4槽の下部を貫通して走行する4台の払出機で行う。払出機は回転ホイールと走行台車からなり、回転ホイールで最下部の荷を掻き出しながら各槽の下を移動する。払出機の走行軌条の上部には傘状の覆いが設けられており払出機の走行を可能にしている。払出機で掻き出された石炭はその下の払出コンベヤで図の中央に集められ次の工程に運ばれる。図3.50は電源開発石川発電所の貯炭装置の全景である。

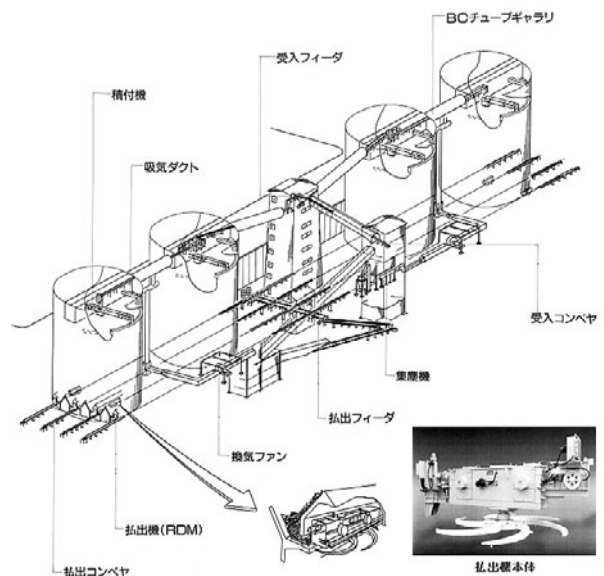


図3.49 サイロ式貯炭装置払出し構造図
三井三池製作所提供の図を筆者が合成加筆

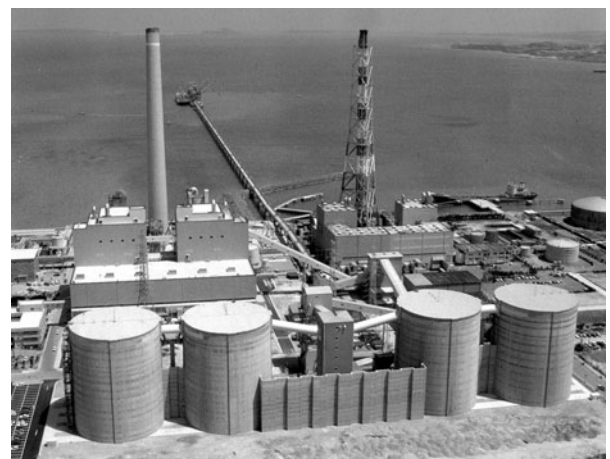


図3.50 電源開発石川発電所貯炭装置全景
三井三池製作所提供

このようなサイロ式貯蔵装置は電源開発石川発電所に続き、中国電力三隅発電所に33,000ton／基×12基（鋼製角型集合サイロ）、電源開発橋湾火力発電所に70,000ton／基×8基、四国電力橋湾発電所に70,000ton／基×4基、北海道電力株式会社苫東厚真発電所に7,000ton／基×3基、関西電力舞鶴発電所に100,000ton／基×3基が建設されている。これらはいずれも石炭が貯蔵物である。

先に述べたように製鉄業では原料の野積みが問題となっているケースが少ない。しかし今後問題となることも考えられる。石炭の取り扱いが火力発電所での知見をもとに計画できるが、鉄鉱石の取り扱いにはまだ課題を残している。

3.4 連続アンローダ導入

3.4.1 連続アンローダの開発

グラブバケット式アンローダによる荷役は次のような欠点がある。

- ① 非連続的である。
- ② グラブバケットからの落下物が多い。
- ③ ブルドーザ等で処理しなければならない底荷の量が多い。
- ④ 運転に熟練を要する。
- ⑤ 荷役能率が変動する。等

これらを解決するために連続的に荷役できるアンローダが切望された。

日本で最初に設置された連続アンローダは呉市にある三ツ子島の岩塩荷役用3,000t/hアンローダである。²³ 第二次大戦終戦後、旧呉海軍工廠造船所（現：IHI呉工場）を日本政府がアメリカのNBC（ナショナル・バルク・キャリア社）へ貸与した。そのNBCがメキシコか

ら岩塩を専用船で運ぶ計画のため三ツ子島に工業用塩の基地を建設した。この連続アンローダはアメリカのコンサルタント「マクドウェル・ウエン社」がすべての基本計画を行い、IHIが製作し、昭和41年（1966年）に完成した。原料ヤードから原料を払い出すときに使用するリクレーマから発想して、バケットホイールで掘削する方法が採用された。バケットホイールで掻き取った荷を垂直のバケットエレベータで持ち上げる構造である。その写真を図3.51に、設計図を図3.52に示す。



図3.51 三ツ子島 岩塩用連続アンローダ写真
石川島運搬機械蔵

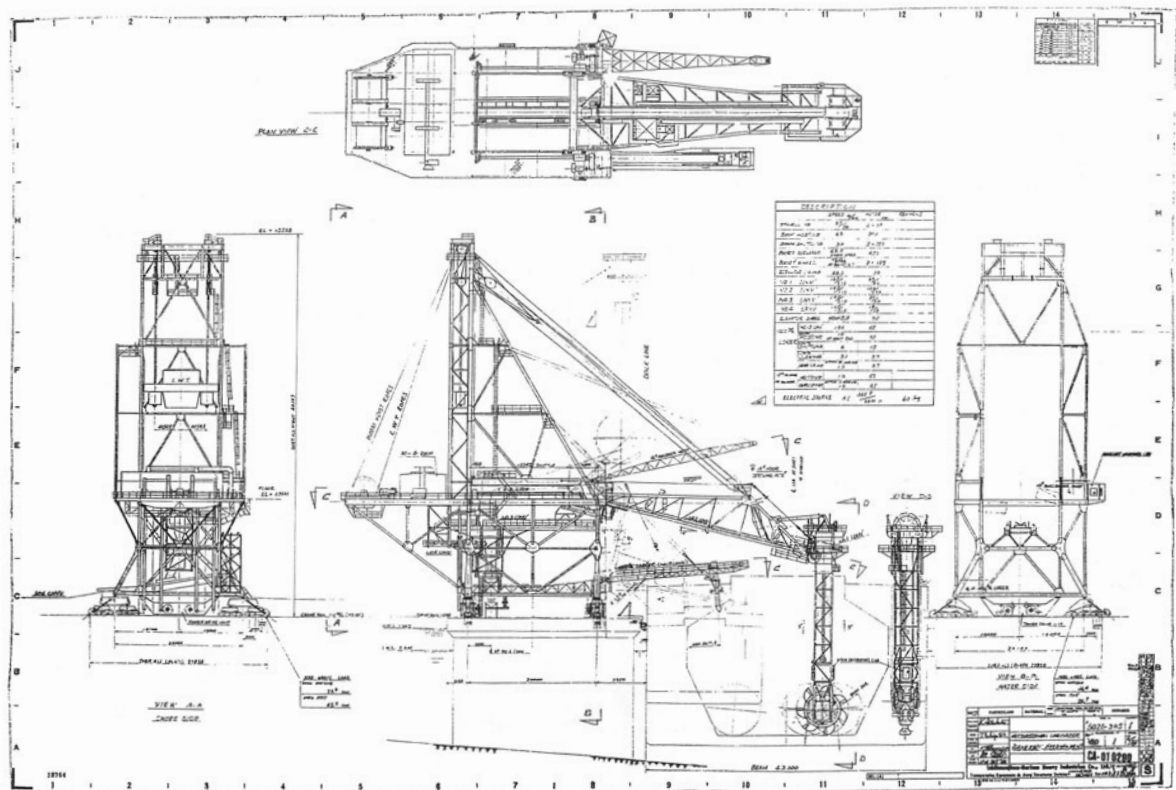


図3.52 三ツ子島 岩塩用連続アンローダ設計図
石川島運搬機械蔵

このアンローダはコンサルタントの基本計画に考慮の足りないところがあり、設置当初から公称能力3,000t/hに対し実平均能力1,500t/h程度と考えられていた。しかし、現実はずっと悪く約1年程度で撤去されたと聞いている。原因は岩塩が船槽内で正に岩のように固まってしまう、バケットホイールが穴掘り機のようにになって、連続アンローダの機能が全く生かされなかったためである。

製鉄業に連続アンローダがはじめて設置されたのは昭和51年（1976年）11月である。これは住友重機械工業（住友重機械エンジニアリングサービスが継承）と新日本製鉄が共同開発したもので、現在稼動している連続アンローダと同様のバケットエレベータ方式を採用している。この機械は新日本製鉄大分製鉄所に設置された。図3.53はこの写真である。



図3.53 大分製鉄所 連続アンローダ
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

複数個のバケットを装着したチェーンをスプロケットを介し引っ張ることで荷を掘削し持ち上げる。そして持ち上げた荷をブームに設置されたベルトコンベヤで岸壁まで運び、地上コンベヤに払い出す。この機構で連続的な作業を可能にした。

このアンローダの取扱物は蛇紋岩・石炭等であり鉄鉱石は含まれていない。本機はブームを旋回する機能を備えているものの、掘削部を旋回する機能を持っておらずハッチ口より船槽の広い船の荷役には適していない。本機は定格能力300t/hであり、対象船が500～3,000DWTであることもあり、大分製鉄所では副原料の荷役に使用していたが平成14年（2002年）に廃棄した。

現在の連続アンローダの原型は昭和58年（1983年）7月に四国電力西条火力発電所に設置されたアンローダである。図3.54がその写真である。このアンローダはバケットエレベータで持ち上げた取扱物を回転フィーダを介してブームコンベヤに払い出す構造であり、掘削部が旋回できるようになっている。掘削部の旋回機

能が備わったことで掘削作業が容易となり掘削効率が向上した。取扱物は石炭、対象船は1,000～3,000 DWTであり、定格能力は1,000t/hである。小型ではあるものの現在多く使われている連続アンローダの主要な機能をすべて備えており、今後の発展の嚆矢となるものである。



図3.54 四国電力西条火力発電所連続アンローダ
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

この後、連続アンローダは石炭荷役を対象に開発され、昭和60年（1985）1月に苫東コイルセンターに80,000DWTの船まで荷役できるアンローダが石川島播磨重工業（現：石川島運搬機械）と住友重機械工業（現：住友重機械エンジニアリングサービス）がそれぞれ1台納入し大型化が実現された。図3.55、図3.56は石川島播磨重工業、住友重機械工業が製作したともに定格能力1,200t/hの苫東コイルセンターのアンローダの写真である。



図3.55 石川島播磨重工業製
苫東コイルセンター 連続アンローダ
石川島運搬機械蔵



図3.56 住友重機械工業製
苫東コールセンター 連続アンローダ
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

3.4.2 製鉄業に導入

石炭については連続アンローダの技術が確立され、火力発電所やコールセンターで新設されるアンローダはすべて連続アンローダになった。しかし鉄鉱石を荷役する製鉄業では前述の大分の副原料用連続アンローダが設置されてから17年間1台も設置されなかった。製鉄業に連続アンローダを導入するには次の課題を克服する必要があった。

- ① 鉄鉱石を掘削するときの掘削抵抗が大である。
- ② 鉄鉱石を運搬する船は大型であるので取扱物の持ち上げ高さが大である。
- ③ 比重の3倍近く異なる石炭と鉄鉱石を同じ機械で荷役する必要がある。
- ④ チェーン張力が大となり、チェーン強度と大きな動力が必要である。等

石炭の場合は比重が小さいうえ、自己潤滑性があるため掘削による抵抗は大きくない。しかし鉄鉱石の場合はどれ程の掘削力が発生するか不明であったため、メーカー各社は実験設備を製作しテストを重ね掘削力を予測した。これによりバケットエレベータの必要駆動力を決定した。

バケットエレベータの駆動装置は先端部の重量を軽減するため油圧モータの採用が計画された。しかし必要駆動力が大きいため国産では油圧モータを入手できず輸入品が選定された。

掘削力と持ち上げ力の合計が大きくなることから、チェーンの選定にも苦慮した。各メーカーはチェーンメーカーと協力して強度が高く摩耗の少ないチェーンの開発を行った。

石炭と鉄鉱石という性質の異なる荷を掘削することでの困難も大きい。石炭の掘削能力を確保するために

バケットの大きさは大きくなる。このバケットが一杯になるように鉄鉱石を掘削すると掘削力が大きいという持ち上げるために必要な力が大きくなり過ぎ油圧モータに必要な油圧が高くなり過ぎる。しかし実際には油圧系を保護するためにリリーフ弁で油圧がある値以上高くないように制限しており機械が停止してしまう。バケットの切り込み量と掘削速度を制御して運転することで掘削を可能とした。

平成5年（1993年）11月に三菱重工業は新日本製鉄君津製鉄所に鉄鉱石／石炭兼用の連続アンローダの1号機を納入した。これは前記の課題を克服するとともに、全体の軽量化・低騒音化・振動軽減等を目的に、バケットチェーンで掘削した荷をブームまで持ち上げる途中で垂直ベルトに乗り継がせる乗継方式を採用した。しかし鉄鉱石荷揚げ時に乗継部でトラブルが発生し、この問題の解消のため乗継方式を断念して、バケットチェーンをブーム上まで持ち上げる乗継レス方式に改造した。

これより少し遅れ石川島播磨重工業（現：石川島運搬機械）は平成6年（1994年）に日本鋼管福山製鉄所（現：JFEスチール西日本製鉄所福山地区）に鉄鉱石／石炭兼用連続アンローダを納入した。これは乗継レス方式である。図3.57はその写真である。バケットチェーンの駆動は従来の連続アンローダと同様油圧モータを採用していたが、大きな動力を必要とするので、



図3.57 福山製鉄所 連続アンローダ
石川島運搬機械蔵

チェーンコンベヤの最上部だけでなく、掘削部にも油圧モータを具備する構造とした。これは環境の悪い箇所に油圧モータを設置するという欠点があるものの駆動部を上下2か所に分けられることによりチェーン張力を小さくできるという利点がある。

連続アンローダの構造について説明する。図3.58は連続アンローダの作業を説明する概念図である。図3.59は荷の流れを模式的に表した図である。船槽内に挿入した掻取部のバケットチェーンで荷を掘削し、ブームまで持ち上げる。掻取部先端の方向によりブーム上部で払い出される方向が変化するため、この荷を集める目的で回転フィーダが設置されている。図3.60は回転フィーダの働きを示した図である。この回転フィーダで荷の排出位置を一箇所とし、この荷をブームコンベヤで旋回中心まで搬送し走行部の機内コンベヤから地上コンベヤに排出する。掻き取りは掻取部を前進させて行うのではなく、横方向に移動させて行う。図3.61に示すように掻取部を横方向に水平に移動させることで荷を平らに掘削していく。

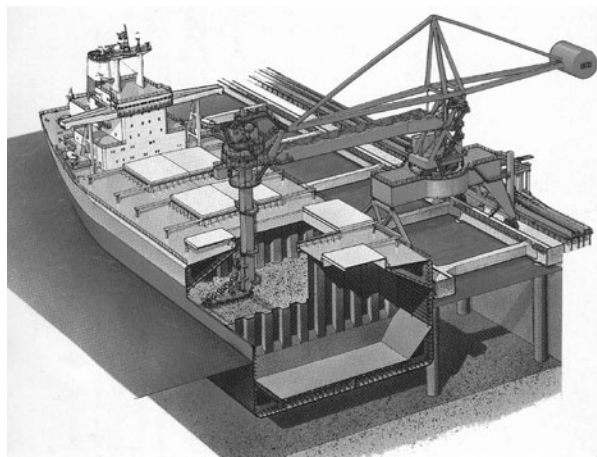


図 3.58 連続アンローダの作業概念図
出典：石川島運搬機械パンフレット

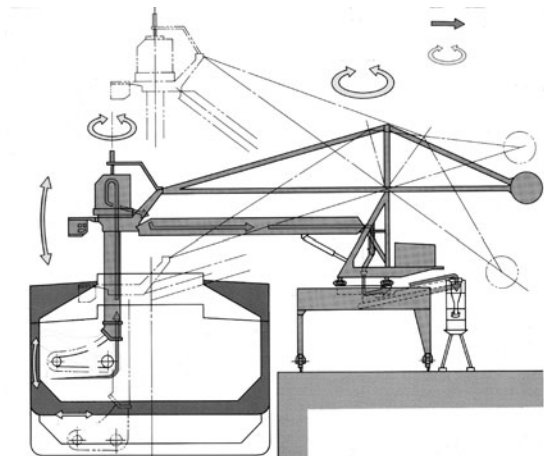


図3.59 荷の流れ模式図
出典：石川島運搬機械パンフレット

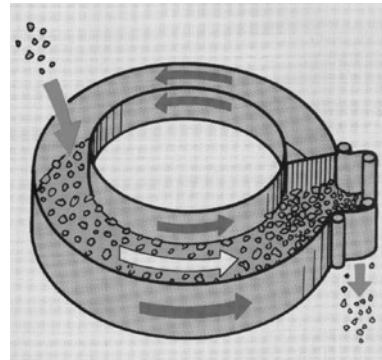


図3.60 回転フィーダの動き
出典：石川島運搬機械パンフレット

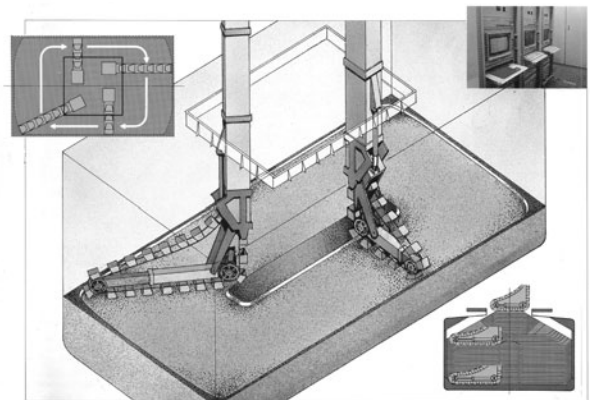


図3.61 水平サイドカッティング概念図
出典：石川島運搬機械パンフレット

住友重機械工業（現：住友重機械エンジニアリングサービス）は平成7年（1995年）9月に川崎製鉄水島製鉄所（現：JFEスチール西日本製鉄所倉敷地区）に連続アンローダを納入した。図3.62はその写真である。このアンローダはバケットチェーンの駆動に初めて電動式を採用した。住友重機械工業はこのほかに回転フィーダ・掘削部旋回・ブーム旋回にも電動式を採用することで、油圧使用箇所を少なくし、油圧によるトラブルをできるだけ少なくすることを目指した。また油圧駆動の場合は掘削力が異常に大きくなるとリリーフ弁が作用するとともにさらに圧力が高くなると運転停止になるという問題があるが、電動式の場合は掘削力が大きくなると掘削速度が自動的に低下し仕事量一定の掘削ができるので、機械系の強度さえ問題がなければ掘削力が増大しても問題なく運転を継続できるという利点がある。

電動式の場合、駆動する場所に電動機および減速機が必要である。電動機および減速機は重量が大でありこれをブームの先端に設置するとそれに対応したブームの強度アップが必要となり、カウンターバランスの重量増が必要となるという欠点もある。

油圧式か電動式かには一長一短があるが、最近は電動式の採用が増えてきたようである。



図3.62 水島製鉄所 連続アンローダ
住友重機械エンジニアリングサービス蔵

連続アンローダを採用するとほぼ密閉式にできるため取扱物の落下がほとんどなくなるという利点がある。船内の掘削作業で粉塵が発生することがあるが、その場合は散水することで粉塵を極小にすることができる。そのため環境面から評価すると非常に優れているといえることができる。

荷の流動性が悪い場合、連続アンローダで荷役中船槽の壁際に荷が付着して残る場合がある。このときは掘削部先端に取り付けた放水銃で崩すことができる。船槽内の荷が少なくなった時点でブルドーザを投入し残存物を船底中央にかき集め、再度連続アンローダで掻き取ることで残存物を非常に少なくすることができる。

グラブバケット式アンローダは掘削する位置により荷役能率が大きく異なる。船槽内の岸壁に近い上荷を荷役する場合はバケット移動距離が短いため、時間当たりのつかみ回数が多くなり荷役能率が高い。反対に岸壁と反対側の底荷を荷役する場合はバケット移動距離が長く、時間当たりのつかみ回数が少なくなり荷役能率が低くなる。荷役能率は最も高い時の半分以下になることがある。荷の排出を連続的かつ均一にするためホッパーを備えているが、掘削する位置から生じる荷役能率の変動をならす能力はない。地上コンベヤの能力はグラブバケット式アンローダの瞬時最高能力以上が必要であり地上コンベヤの効率は悪くなる。

一方、連続アンローダでは掘削位置による荷役能率の変動は少なく地上コンベヤ能力一杯の連続アンローダを設置することができることになる。また連続アンローダではブルドーザ作業時間等の荷役不能時間が短いので荷役効率が高くなり、グラブバケット式アンローダにくらべて台数を少なくすることができる。

現在では鉄鉱石／石炭兼用の連続アンローダの技術も確立され、新しく設置されるアンローダに連続アン

ローダが採用されることが非常に多くなっている。

しかし連続アンローダでは300mmを越える大塊のある鉄鉱石を荷役するには困難を伴う。このような鉄鉱石はグラブバケット式アンローダで荷役することが望ましい。また水分の非常に多い荷を荷役する場合、特に底荷を荷役する際に水分が集中するうえブームの傾斜角が大きくなり、ブームコンベヤ上で荷が流れ正常な荷役ができなくなる恐れがある。老朽化したグラブバケット式アンローダを更新する場合、グラブバケット式アンローダを1基残しておくことが多い。（残留する荷を掻き集めるためのブルドーザを投入する場合、グラブバケット式アンローダの方がブルドーザ搬入・搬出時間を短くできる利点もある。）

連続アンローダの運転台は通常、船の船槽内を見渡せる場所としてブームの先端に設置されている。しかしコラム（バケットチェーンを囲う構造体）があるため直接掘削部を見ることが難しい箇所が発生する。そのためコラムの周囲（通常4箇所）にテレビカメラを配置し、この画像を1画面に合成して掘削状況の監視を可能にしている。図3.63はアンローダのコラム周りの船槽を見渡すテレビ画像である。コラムによる死角がなくなり非常に見やすい。左下の画面に掘削部があることがわかる。図3.64は掘削部先端を見渡すテレビ画像である。このテレビの画面を掘削部の進行方向（今、時計回りに掘削しているので掘削部の右側）が見える画像に切り替えて監視している。通常は主にこの2画面をみることで運転が可能である。

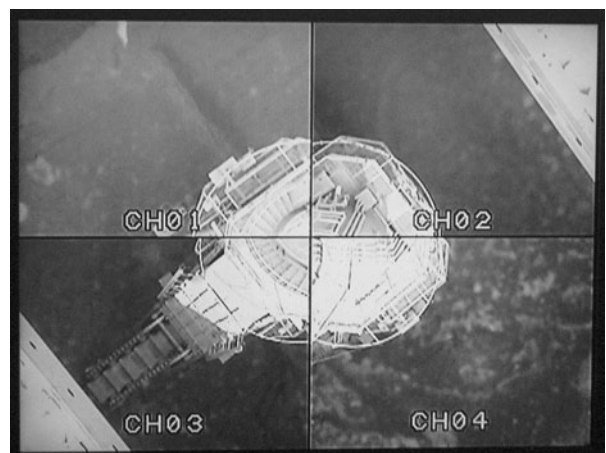


図3.63 船槽内テレビ画面
新日本製鉄君津製鉄所提供



図3.64 掘削部進行方向テレビ画面
新日本製鉄君津製鉄所提供

新日本製鉄君津製鉄所ではこれらの画面を見ることで必ずしも直接に船槽内を見る必要がないとし、運転室を掘削部から離れた中央の旋回体に設置している。図3.65は君津製鉄所の連続アンローダの写真であり、運転室が旋回体に設置されている。運転室を旋回体に設けることでブーム先端の重量を低減できるとともに、運転室への乗務が容易になるなどの利点がある。しかしながら多くの製鉄所では船槽内を直接見ることが重要としてブーム先端に運転室を設置している。



図3.65 住友重機械エンジニアリングサービス製
君津製鉄所連続アンローダ
新日本製鉄君津製鉄所提供

連続アンローダの自動運転の考え方は上荷と底荷は運転者が運転台で直接操作する手動運転、中間の荷は運転者が1周手動で運転しその情報をコンピュータが記憶しその後自動で同じ動作を繰り返すティーチングプレーバック方式を採用しているところが多い。

連続アンローダでは掘削部を移動させる構造はジブクレーンと同じである。掘削位置を岸壁に直角に移動させようとする場合や鉛直方向に上下させる場合にはブームの上下、旋回および本体走行の3運動を組み合わせる必要がある。連続アンローダでは手動運転と

いえどもコンピュータがこの3運動を適切に制御し、掘削位置を岸壁に直角に移動させる動作や鉛直方向に上下させる動作もハンドル一つで操作できるようになっている。

中間の荷を荷役する場合に完全自動運転をさせようということで、あらかじめ船槽の形状をコンピュータに登録しておき最適掘削経路をコンピュータが計算しそれにしたがって運転する方法があるが、船槽内のタラップの形状など図面と異なる場合が多いので実現は難しいようである。現状では中間の荷といえども運転中の監視を省くことはできない。

先に述べたように原料ヤードは省力化が進んでおり運転センターから全荷役機器を運転している。連続アンローダもここから運転するのが理想である。アンローダの運転者を無くすことは難しいが、この運転者が原料荷役機器の運転も同時に監視することができれば全体としての運転要員を低減できるかもしれない。連続アンローダの運転室をブーム先端から放すことはこの先駆けとなるかもしれない。

引用文献

- 1 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所五十年誌」107p（昭和25年）
- 2 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所八十年史 総合史」20p（昭和55年）
- 3 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所五十年誌」202p（昭和25年）
- 4 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所八十年史 部門史上巻」518p（昭和55年）
- 5 臼井茂信著「機関車の系譜図 2」199p（昭和47年）
- 6 渡辺肇著「日本製機関車製造銘板・番号集成」30p、59p（昭和57年）
- 7 日本製鉄株式会社史編集委員会編「日本製鉄株式会社史」608p後の写真集12p目（昭和34年）
- 8 川崎重工業株式会社車両カンパニー編「未来へつづく100年の軌跡-兵庫工場100年史」生産実績・製品写真CD第2章359p（平成19年）
- 9 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所写真集」9p（昭和41年）
- 10 新日本製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所土木誌」209p（昭和51年）
- 11 中村元著「架空索道運搬法」3p、9p（明治41年）
- 12 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所五十年誌」80p（昭和25年）
- 13 菅原朝吉著「日本におけるクレーンの歴史」90p（平成13年）

- 14 日本製鉄株式会社史編集委員会編「日本製鉄株式會社史」428p後の写真集1p目（昭和34年）
- 15 菅原朝吉著「日本におけるクレーンの歴史」95p（平成13年）
- 16 鈴木光、四ツ谷禎三、加藤竹夫、市川博昭共著「ベルトコンベヤの計画と管理」21p（昭和42年）
- 17 鈴木光、四ツ谷禎三、加藤竹夫、市川博昭共著「ベルトコンベヤの計画と管理」26p（昭和42年）
- 18 社団法人日本鋳業会コンベヤ研究会編「新ベルトコンベヤの計画と管理」323p（昭和54年）
- 19 社団法人日本鋳業会コンベヤ研究会編「新ベルトコンベヤの計画と管理」31p（昭和54年）
- 20 鈴木光、四ツ谷禎三、加藤竹夫、市川博昭共著「ベルトコンベヤの計画と管理」23p（昭和42年）
- 21 鈴木光、四ツ谷禎三、加藤竹夫、市川博昭共著「ベルトコンベヤの計画と管理」27p（昭和42年）
- 22 社団法人日本鋳業会コンベヤ研究会編「新ベルトコンベヤの計画と管理」93p（昭和54年）
- 23 日本機械学会編「創立100周年記念 機械工学100年のあゆみ 1897～1996」162p（平成8年）

4 | 溶銑・溶滓輸送技術のあゆみ

4.1 輸送形態について

初期の釜石では高炉から出される溶銑は砂型によりナマコ銑に製造された。また溶滓も砂場に流して処理されていた。この方式は生産量が少ない場合は問題がなかったが、明治34年（1901年）に創業した官営八幡製鉄所では一貫製鉄所でもあり、当初から高炉から出てきた溶銑および溶滓はそれぞれ鍋に受けた。そしてこの形態は基本的には現在も変わっていない。高炉の炉下で台車に積載した鍋に溶銑または溶滓を受け次工程まで鉄道で搬送する。溶銑を入れた鍋は製鋼工場に運ばれ、クレーンで吊り上げられ混銑炉に溶銑を投入した。溶滓を入れた鍋は排滓場に運ばれ、これもクレーンで吊り上げられ排滓場に排出した。

日本製鉄（現：新日本製鉄）釜石製鉄所では昭和10年（1935年）から溶滓を入れた鍋を製鉄所の裏山に貨車で運び上げ、クレーンで投棄した。その写真が図4.1である。溶滓が夜の釜石市街を明るくする光景は名物であったという。¹



図4.1 釜石裏山で溶滓を投棄
出典：新日本製鉄釜石製鉄所編
「鐵とともに百年 [写真・資料]」²

その後溶滓は埋め立て用に使用されることが多くなった。そのため軌条のすぐ横に排滓すればよい場合が多く、鍋を台車に載せたままで傾け排出する方法が考え出され現在にいたっている。図4.2および図4.3は鍋台車の写真で、図4.2は溶滓を受けるときの姿勢、図4.3は溶滓を排出するときの姿勢をしている。



図4.2 傾倒式溶滓鍋車
新日本製鉄君津製鉄所提供



図4.3 鍋を傾倒したところ
新日本製鉄君津製鉄所提供

溶銑を入れる鍋は当初は上部が図4.4のように開放されていた。次工程で冷却をする溶滓では保温の必要がないため現在もこの開放形の鍋を使っている。しかし溶銑では温度が下がるのを嫌ったため図4.5のように蓋をするようになった。

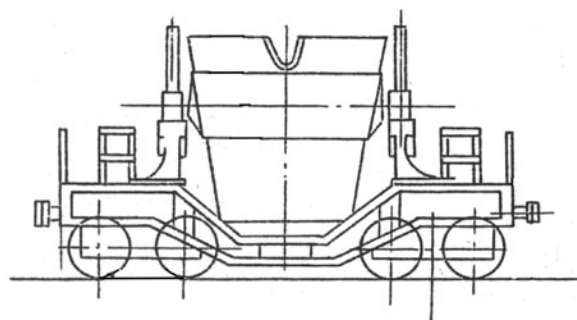


図4.4 上部開放形溶銑車

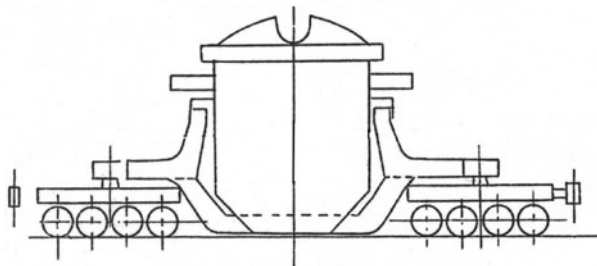


図4.5 溶銑鍋車

昭和30年（1955年）以前の製鋼は平炉を用いて行われていた。平炉は1サイクルが3時間を越え長いので、溶銑は混銑炉に一時蓄えられた。^{3,4} しかし昭和30年代に入り主な製鋼方法はLD転炉となった。LD転炉は1サイクルが1時間未満であり、どんどん溶銑が必要になり混銑炉を使わなくなった。すなわち製鋼工場に持ち込まれた溶銑は溶銑鍋で受け、溶銑鍋で溶銑を転炉に投入する方法が取られた。製鋼まで運んできた鍋から溶銑鍋に投入すればよいのであるから、軌条のすぐ

横の低い位置に溶銑鍋を置くことで台車の鍋を傾けて溶銑を溶銑鍋に投入することができるようになった。混銑炉の代わりとなるよう大容量の溶銑を入れることができること、保温性の良いこと、そして傾けて溶銑を排出できることの要件を備えた鍋車として円筒形の炉を持つ混銑車（形状が魚雷に似ていることからトーピードカーといわれる）が開発された。混銑車は欧米では1910年代から使用されていた⁵がわが国では昭和36年（1961年）に導入されたのが最初である。

石川島播磨重工業（現：IHI）は当時ヨーロッパで製作実績の豊富なドイツのGHH（ゲーテホフヌクスヒュッテ）から技術導入し、昭和36年に住友金属工業和歌山製鉄所に130ton混銑車を納入した。⁶ 図4.6に混銑車の構造を示す。円筒形の炉体の両側にある軸受を中心に回転できるようになっている。図4.7に現在も和歌山製鉄所で稼働しているこの第1号機と同仕様の混銑車の写真を示す。

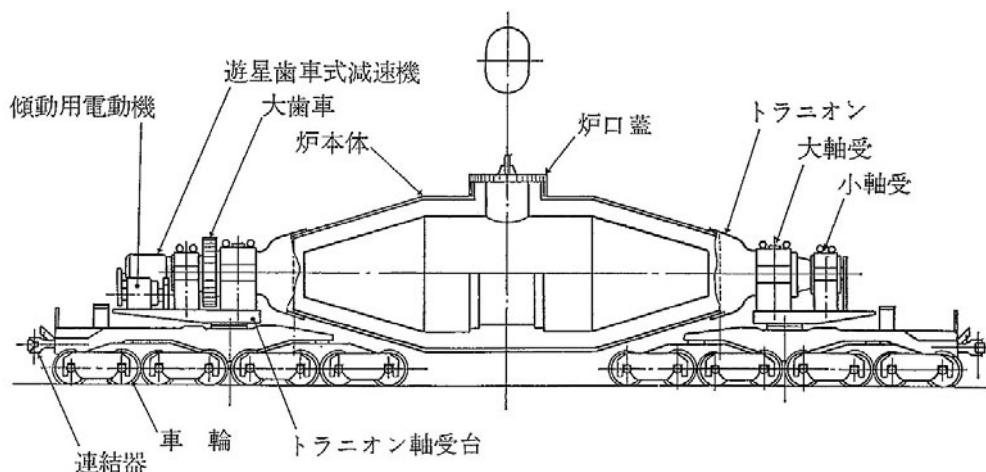


図4.6 16軸32車輪混銑車

出典：土田浩著「混銑車の概要」石川島播磨技報 昭和44年8月別冊第2号



図4.7 住友金属工業和歌山製鉄所130ton混銑車
住友金属工業和歌山製鉄所提供

八幡製鉄工作本部（現：新日鉄エンジニアリング）は海外と技術提携することなく自社開発し、昭和40年（1965年）に八幡製鉄（現：新日本製鉄）堺製鉄所に250ton混銑車を納入した。図4.8はその写真で高炉から溶銑を受けているところである。

図4.9は八幡製鉄工作本部（現：新日鉄エンジニアリング）が製作し八幡製鉄（現：新日本製鉄）八幡製鉄所に納入した初期の混銑車と同形の150ton混銑車の写真であり、現在北九州市八幡東区の東田高炉記念広場に展示保存されている。



図4.8 新日本製鉄堺製鉄所250ton混銑車
新日鉄エンジニアリング所蔵



図4.9 八幡製鉄所の初期の混銑車

ボギー形式は従来多用されていた簡単な構造の軸ばね式に替わって釣合梁式が開発された。釣合梁式は輪重バランスが良く、かつ曲線通過時にレールに与える横圧力が少ないという長所がある。日本の製鉄所は臨海製鉄所がほとんどで地盤が軟弱な場合が多いが、その軟弱な地盤の道床上を走行する製鉄所用鉄道車輛として釣合梁式は不可欠な技術であった。

図4.6に見るように混銑車はボギーに載る部分（台枠：炉体回転軸の軸受台）が前後に分かれている。そしてこれらを炉体でつないでいる。一般の車輛では図4.10のように前後のボギーの載る部分（台枠）は一体である。混銑車では車輛高さを高くせず炉体をできるだけ大きくしたいという要求と炉体自身が十分強度を持つこともあり台枠を前後に分割している。

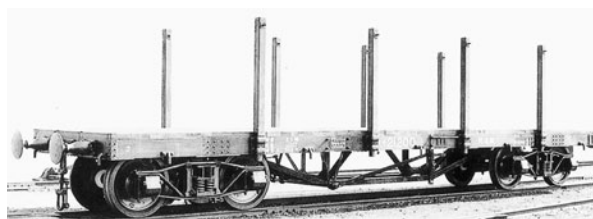


図4.10 25ton積2軸ボギー材木車
出典：川崎重工業株式会社車両カンパニー編
「未来へつづく100年の軌跡-兵庫工場100年史」⁷

転炉の大型化に伴い混銑車も大型化が望まれた。従来の製鉄所は製品の出荷のために構内鉄道がJRとつながっている場合が多く、軌条の幅はJRと同じ1,067mmを使っていた。しかし昭和39年（1964年）以降に建設された製鉄所では製品の出荷を鉄道によらない場合が多いため、1,067mmにこだわる必要がなくなり、標準軌1,435mm（4フィート8.5インチ）を使用している製鉄所が多い。（新日本製鉄名古屋製鉄所・堺製鉄所・君津製鉄所、神戸製鋼所加古川製鉄所、住友金属工業鹿

島製鉄所等) 一方新日本製鉄大分製鉄所では標準軌より広い1,676mm (5フィート6インチ) を使用している。JFEスチール東日本製鉄所京浜地区ではJRとつながっている部分は1,067mmを使用しているが新しくできた扇島は1,676mmを使用している。

軌条の幅を広くすると車体の安定が増すとともに搬送能力を大きくでき600tonを運べる混鉄車もある。重量が大きくなると軌条に対する負荷も大きくなる。一般の鉄道車輛の場合、車輪直径860mmで最大輪重9ton程度である。製鉄車輛の場合は低速運転であるので最大輪重18ton程度で使われている。さらに車輪に熱処理を加えるなどして輪重が20tonを超える状態で使用している場合もある。この制限があるため車輪数を多くする必要がある。

一般の貨車や電車は2軸ボギー (4車輪) を前後に配置することで、各車輪にかかる荷重を均等化するとともに曲線走行のときの車輪横圧力を小さくしている。前述の図 4.10は2軸ボギー式の貨車の一例であり図 4.11に2軸ボギーの概念図を示す。2組の2軸ボギーの上に車輛本体が載るが2軸ボギーの中心にあるピンで前後に滑らないようにしている。線路が曲線のとき2軸ボギーがピンを中心に回転することで車輪の横圧力が大きくなるのを防いでいる。この鉛直荷重を支える部分を心皿と呼ぶが、この接触面は平面の場合と球面の場合がある。心皿は焼きつくことを防ぐために強制潤滑されている。

この8車輪の構造では輪重20tonとすると全荷重160tonまで可能となる。風袋重量が半分くらいになるので80ton程度まで搬送可能となる。

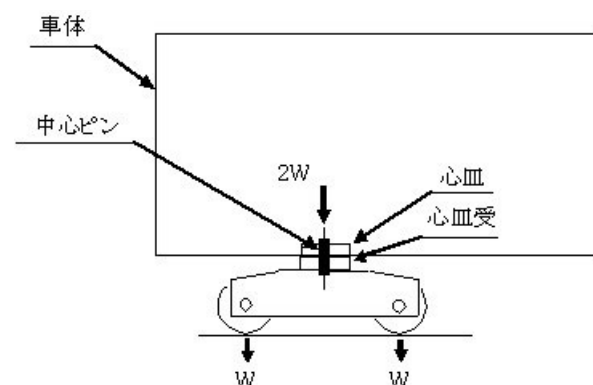


図4.11 2軸ボギー概念図

搬送可能重量を大きくするためには車輪数を増やす必要がある。ボギーの構造としては前述の2軸ボギーと3軸ボギーがある。図4.12は3軸ボギーの概念図である。2軸ボギーにもう1軸が乗りかかる構造になっている。車輪のピッチを同一にするとともに中間の車軸位置にピン中心を選択すると3軸にかかる荷重は均等に

なる。ピン構造になっておりピン中心に回転することで線路が曲線のときも車輪の横圧力が大きくなるのを防いでいる。

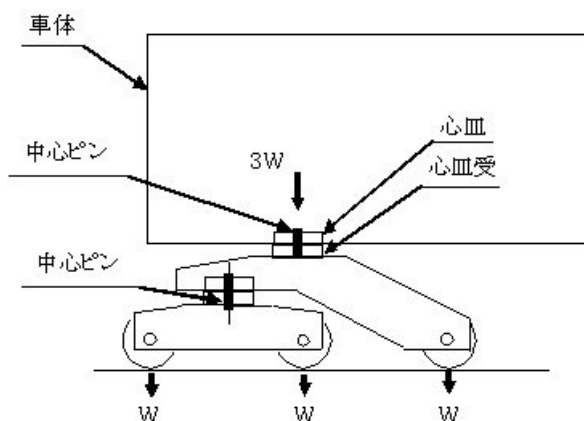


図4.12 3軸ボギー概念図

これらを組み合わせて車輪数を増やす。図4.13は2軸ボギー4台車を組み合わせた構造の概念図である。2組の2軸ボギーをヨークでつなぎ、2個のヨークの上に車輛本体を載せる。それぞれの接続箇所には前述同様ピンと心皿を設ける。車輪を多くつけることで車両は長くなるが、8軸16車輪に均等に鉛直荷重が作用することになる。またピン構造をとっているため曲線部の走行でも横圧力が大きくなるのを防ぐことができる。実際の混鉄車では高さが高くなるのを防ぐため心皿位置を低くするよう工夫されている。和歌山製鉄所および八幡製鉄所の混鉄車はこの構造をとっており150ton

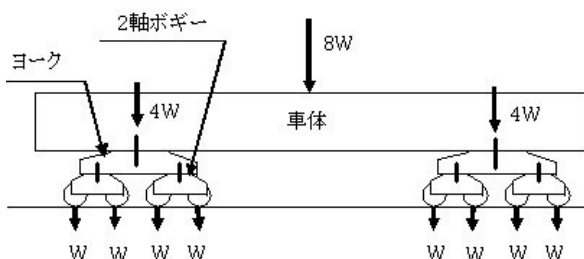


図4.13 2軸ボギー4台車組み合わせ概念図

の溶鉄を運ぶことができる。

同様に3軸ボギーを4台車組み合わせると24車輪となり250tonの搬送能力となる。前述の堺製鉄所の混鉄車はこの構造になっている。2軸ボギーを8台車組み合わせると32車輪となり320tonの搬送能力となる。この例の一つは新日本製鉄君津製鉄所の混鉄車に見られその構造は図4.6に示すとおりであり図4.14はその写真である。

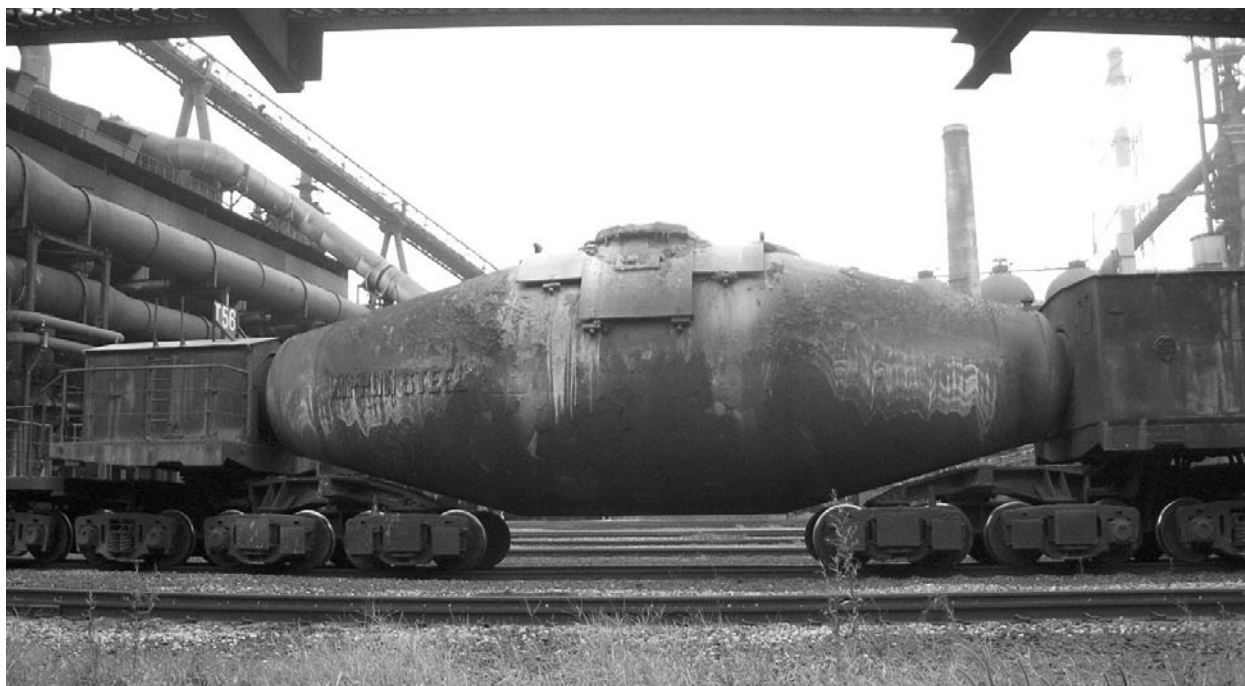


図4.14 君津製鉄所の320ton混鉄車
新日本製鉄君津製鉄所提供

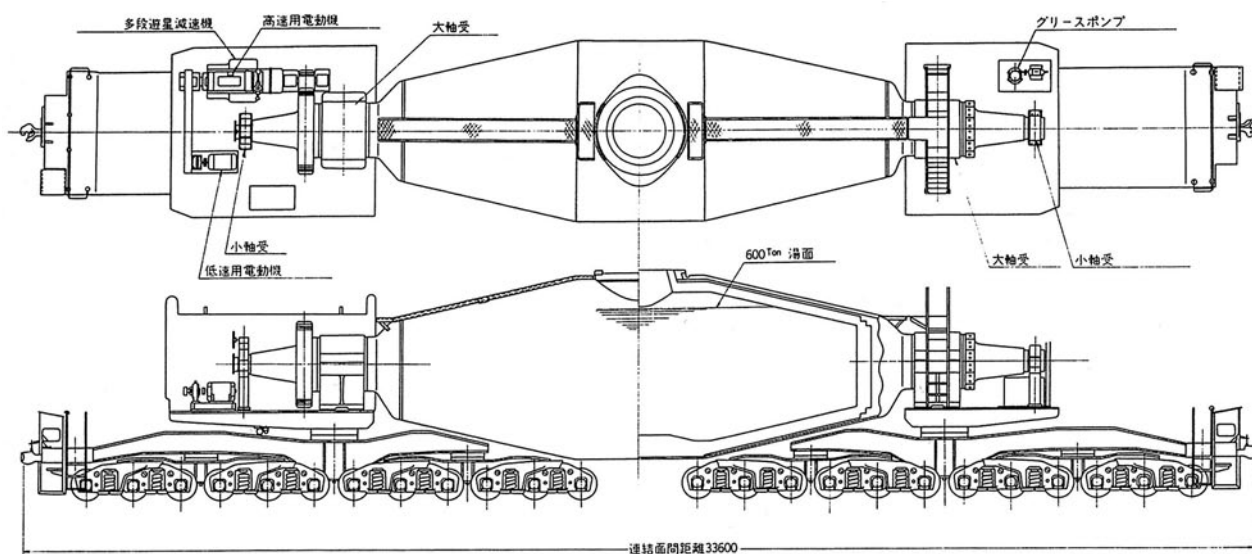


図4.15 24軸48輪混鉄車
出典：製鉄機械設備総覧編集委員会編「'83 製鉄機械設備総覧」⁸

さらに3軸ボギーを8台車組み合わせると図4.15のように48車輪となり600tonの搬送能力となる。新日本製鉄大分製鉄所の混鉄車はこの構造を採用している。

このように車輪数を多くするとヨークが多段に重なることになる。すると炉体の高さが高くなり不安定になり、軌条の幅から可能な限度が決まってくる。軌条幅を広くすると安定性が増すが、曲率半径も大きくする必要があり工場レイアウトの問題にもつながる。

混鉄車は大容量を運べるとともに開口部が小さいと

いう利点があるので混鉄車を採用する製鉄所が増えているが、混鉄車は細長い形状をしているため炉の中の溶鉄が攪拌されにくいという欠点がある。JFEスチール西日本製鉄所福山地区では脱硫・脱磷等の溶鉄事前処理の容易性や攪拌効果の高い混鉄炉の有効性を重視して現在も図4.5のような鍋台車を使用している。図4.16は西日本製鉄所福山地区の溶鉄鍋車の写真である。

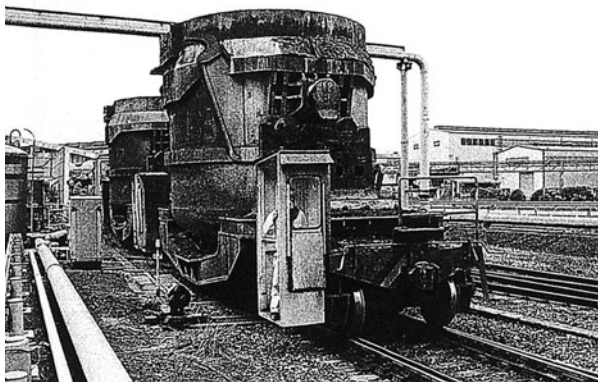


図4.16 西日本製鉄所福山地区の溶鉄鍋車
出典：石本祐吉著「製鉄所の鉄道-
福山製鉄所を訪ねる」⁹

原料の輸送では貨車輸送がベルトコンベヤ輸送に変わったが、溶鉄・溶滓輸送は今も鉄道輸送に頼っている。これは高温の液体の大量輸送であるためであり、鉄道輸送が最も安全な輸送方法であるためである。連続鑄造設備から次の圧延工場までの輸送も多くの製鉄所で鉄道輸送を採用している。

製品の輸送も以前は鉄道に頼っていたが、昭和40年頃以降に建設された製鉄所ではトレーラー等による道路輸送が主となり、現在では殆どの製鉄所でキャリアパレットシステム等の道路輸送に移行している。

製品の輸送で現在も鉄道輸送が主力であるのは軌条の輸送である。これは製品の形状が非常に長く鉄道輸送が適していることと、軌条の納入先がJRグループ各社が殆どで鉄道を使って出荷するのが便利だからである。

4.2 機関車について

貨車を牽引する動力は、先に述べたように明治13年(1880年)2月に蒸気機関車で牽引する釜石鉄道が導入された。しかし製鉄所が閉鎖されるとともに残念なことに鉄道も撤去されてしまった。そして明治19年(1886年)に民営の製鉄所が再開されたときには動力を馬に頼る馬車鉄道が採用された。製鉄所で蒸気機関車が本格的に活躍し始めるのは明治34年(1901年)に官営八幡製鉄所が発足してからである。

蒸気機関車は当初欧米から輸入していたが、大正8年(1919年)に国産の蒸気機関車が製鉄業にも導入された。そして昭和の時代に入ってから蒸気機関車の国産化はどんどん進んでいった。そして昭和30年代になってディーゼル機関車が導入されるまで蒸気機関車全盛の時代が続いた。蒸気機関車については第3章3.1でくわしく述べたのでここでは省略する。

ディーゼル機関車が世界で初めて作られたのは1910

年(明治43年)である。わが国においては昭和4年(1929年)と昭和5年(1930年)にともにドイツから輸入されたのが最初である。¹⁰ 図4.17は昭和4年に輸入されたディーゼル機関車の写真である。

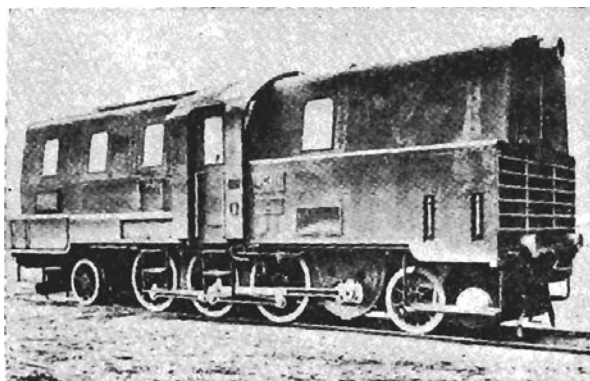


図4.17 国鉄最初のディーゼル機関車DC11形
出典：神代邦雄著
「わが国鉄道における内燃機関発達史(6)」
内燃機関 第11巻12号

渡辺肇著の「日本製機関車製造銘板・番号集成」¹¹によればわが国でも汽車製造および川崎造船所(いずれも現：川崎重工業)が昭和6年(1931年)から製造している。そして製鉄業では同年に官営八幡製鉄所(現：新日本製鉄八幡製鉄所)に汽車製造および川崎造船所が150HPのディーゼル機関車を各1台製造し納入している。しかしその後製鉄業には国産のディーゼル機関車が納入されていない。それは昭和12年(1937年)に日華事変が始まり燃料規制が実施され、ディーゼル機関車の燃料である石油が使えなくなったことが大きな理由である。

第二次世界大戦ののち各製鉄所は復興を始め機関車が必要になった。昭和28年(1953年)までは蒸気機関車が製造されている。一方ディーゼル機関車は昭和25年(1950年)から製造され始め各所に納入された。

ディーゼル機関車の動力伝達方式には機械式と電気式があった。昭和5年にドイツのクルップ社から輸入された機関車は機械式であり、ディーゼルエンジンからの動力を直接車輪に伝えるもので速度の切り替えはクラッチを用いて行っており、マニュアル操作の乗用車と同じ伝達構造である。昭和4年にドイツのエスリンゲン社から輸入された機関車は電気式であり、ディーゼルエンジンからの動力で発電機を回して発電し、その電気で電動機を回し車輪に伝えるものである。日本国有鉄道(現：JRグループ)では電気式が一般的であった。

製鉄業では一般の鉄道に比べて線路長は短いのにレイアウトが複雑なため分岐が多くそのためポイント切り替えが必要となることが多い。ポイント切り替えを

する場合、列車を停車しポイント操作をする必要がある。このことから列車を発進する機会が多くクラッチを使う機械式は非常に煩わしい。

昭和27年（1952年）に燃料規制が撤廃されたことで、石油の使用が自由になり入手が容易になった。加えてクラッチのかわりに流体変速機（トルクコンバータ）を使用した流体式ディーゼル機関車が開発され、昭和29年（1954年）にわが国ではじめての流体式ディーゼル機関車が製造された¹²ことで列車の発進が容易となり、各製鉄所ではディーゼル機関車が導入された。

一方石炭は国内の炭坑からの入手が困難になったこともあって蒸気機関車は昭和28年（1953年）3月に納入されたのを最後に製鉄業には1台も納入されていない。そして各製鉄所ともおよそ昭和40年（1965年）までに蒸気機関車がすべてディーゼル機関車に切り替わった。その理由は、運転要員が少なくすむ、燃料費を低減できる、法定整備費が低廉である、煤煙が出ないなどが上げられる。図4.18は新日本製鉄君津製鉄所の600HP流体式ディーゼル機関車の写真である。



図4.18 君津製鉄所流体式ディーゼル機関車
新日本製鉄君津製鉄所提供

ディーゼル機関車はこうに流体式が主流となったが、JR貨物では平成4年（1992年）に35年ぶりに電気式のディーゼル機関車が採用された。¹³ 製鉄業界でも同じ頃、東芝から新日本製鉄君津製鉄所に電気式のディーゼル機関車が3台納入されている。しかし購入価格が高いこともあって普及していない。図4.19は君津製鉄所の電気式ディーゼル機関車である。

製鉄業ではコークス炉の消火車牽引用以外には電気機関車を殆ど使用していない。これは電気を供給する架線が操業の邪魔になるからである。地下鉄などで使用されている横から給電する方法もあるが、安全上の問題や踏み切りを作るのが困難であるなどの理由で採用できない。製鉄業で電気機関車を用いるのは非常に特殊な場合である。



図4.19 君津製鉄所 電気式ディーゼル機関車
新日本製鉄君津製鉄所提供

コークス炉の消火車の場合は限定された範囲内の移動であり、コークス炉横にトロリー線を配置しパンタグラフで集電することで電気機関車の採用をしている。

官営八幡製鉄所（現：新日本製鉄八幡製鉄所）は大正10年（1921年）に戸畑の東洋製鉄と合併した。そして八幡から戸畑まで溶銑を海上輸送した。しかしその危険性、不経済性などから八幡-戸畑間の専用鉄道が昭和5年（1930年）に敷設された。^{14,15} これが炭滓線（現：くろがね線）である。八幡から戸畑まで市街地の中を通過して溶銑・溶滓を運んだ。八幡製鉄所の操車場で溶銑鍋・溶滓鍋を積んだ貨車を列車編成し、これを炭滓線を使って戸畑の操車場まで機関車で牽引する。この作業の場合操車場でクレーンを使って積み下ろしをする必要がないため架線があっても邪魔にならない。このことより炭滓線を牽引する機関車に経済的で煙を出さない電気機関車が使われた。図4.20は溶銑鍋を牽引する電気機関車の写真（昭和6年撮影）である。八幡製鉄所では現在この炭滓線をくろがね線と呼び戸畑地区から八幡地区への半成品輸送に使用している。



図4.20 八幡製鉄所 炭滓線
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

4.3 運転要員の合理化

官営八幡製鉄所の鉄道輸送は蒸気機関車を使用していた。このときの運転要員は4名である。それぞれの役目は次の通りである。

運転工：機関車の運転手である。ハンドルを握って運転する。

助 手：釜に石炭を投入する釜焚きである。

操車工：列車の先頭で安全を確認し、運転工に旗で合図し運転を指示する。

転轍工：ポイント切り替えのため転轍機を人力で操作する。

図4.21と図4.22は操車工と転轍工の作業状況を示す写真である。



図4.21 操車工と転轍工
新日本製鉄八幡製鉄所蔵



図4.22 転轍工によるポイント切り替え
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

蒸気機関車がディーゼル機関車に代わることにより石炭の投入作業がなくなり、助手が必要なくなった。昭和40年(1965年)頃にはこれにより3名運転となった。新日本製鉄八幡製鉄所では昭和43年(1968年)に、転轍機を電動化し、ワイヤレスマイクで運転工と操車工が

連絡できるように設備改造することで、操車工と転轍工を統合することができ、2名運転が可能となった。図4.23は初期のワイヤレスマイク通信機器の写真であり、図4.24は転轍機をスイッチで遠隔操作をしている写真である。



図4.23 機関車運転用ワイヤレスマイク
新日本製鉄八幡製鉄所蔵



図4.24 転轍機遠隔操作状況
新日本製鉄八幡製鉄提供

さらに昭和44年(1969年)にはディーゼル機関車の運転をリモコン化することによりワンマン運転を可能とした。図4.25はそのときのリモコンの写真であり、図4.26はリモコンで機関車を操作している写真である。一人運転では安全上の問題がある。運転手が何か

の原因で運転できなくなったとき機関車は停止する必要がある。例えば運転手が何らかの原因で転倒したときには列車を停止させたい。このリモコン装置にはリモコン操作盤が大きく傾くと機関車が停止するという安全装置が備わっている。



図4.25 機関車操作用リモコン操作盤
新日本製鉄八幡製鉄提供



図4.26 リモコン運転作業状況
新日本製鉄八幡製鉄所蔵

当時八幡製鉄所では150台の機関車を使っており、3直3交代勤務体制をとっていたので1,800名の運転手が必要であった。¹⁶ ところがこの合理化を実行することにより600名の運転手（要員合理化後は4直3交代体制となった）でよくなり、実に1,200名の要員を合理化できたことになる。

引用文献

- 1 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年 [写真・資料]」135p（昭和61年）
- 2 新日本製鉄株式会社釜石製鉄所編「鐵と共に百年 [写真・資料]」136p（昭和61年）
- 3 日本鉄鋼協会編「鉄鋼製造法（第Ⅰ分冊）」590p（昭和47年）
- 4 日本鉄鋼協会編「第3版 鉄鋼便覧 第Ⅱ巻 製鉄・製鋼」513p（昭和55年）
- 5 日本鉄鋼協会編「鉄鋼製造法（第Ⅰ分冊）」499p（昭和47年）
- 6 土田浩著「混鉄車の概要」石川島播磨技報 別冊 第2号61p（昭和44年）
- 7 川崎重工業株式会社車両カンパニー編「未来へつづく100年の軌跡-兵庫工場100年史」生産実績・製品写真CD第2章323p（平成19年）
- 8 製鉄機械設備総覧編集委員会編「'83 製鉄機械設備総覧」214p（昭和58年）
- 9 石本祐吉著「製鉄所の鉄道-福山製鉄所を訪ねる」鉄道図書刊行会 鉄道ピクトリアル57巻12号108P（平成19年）
- 10 神代邦雄著「わが国鉄道における内燃機関発達史（6）」内燃機関 第11巻12号91p（昭和47年）
- 11 渡辺肇著「日本製機関車製造銘板・番号集成」34p、51p（昭和57年）
- 12 神代邦雄著「わが国鉄道における内燃機関発達史（7）」内燃機関 第12巻1号75p（昭和48年）
- 13 鶴通孝著「北海道のディーゼル機関車」鉄道ジャーナルVol.40 No.9 38p（平成18年）
- 14 新日本製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所の百年 世紀をこえて」54p（平成13年）
- 15 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所八十年史 部門史上巻」518p（昭和55年）
- 16 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所編「八幡製鉄所八十年史 部門史上巻」523p（昭和55年）

5 製鉄業における輸送技術の系統化

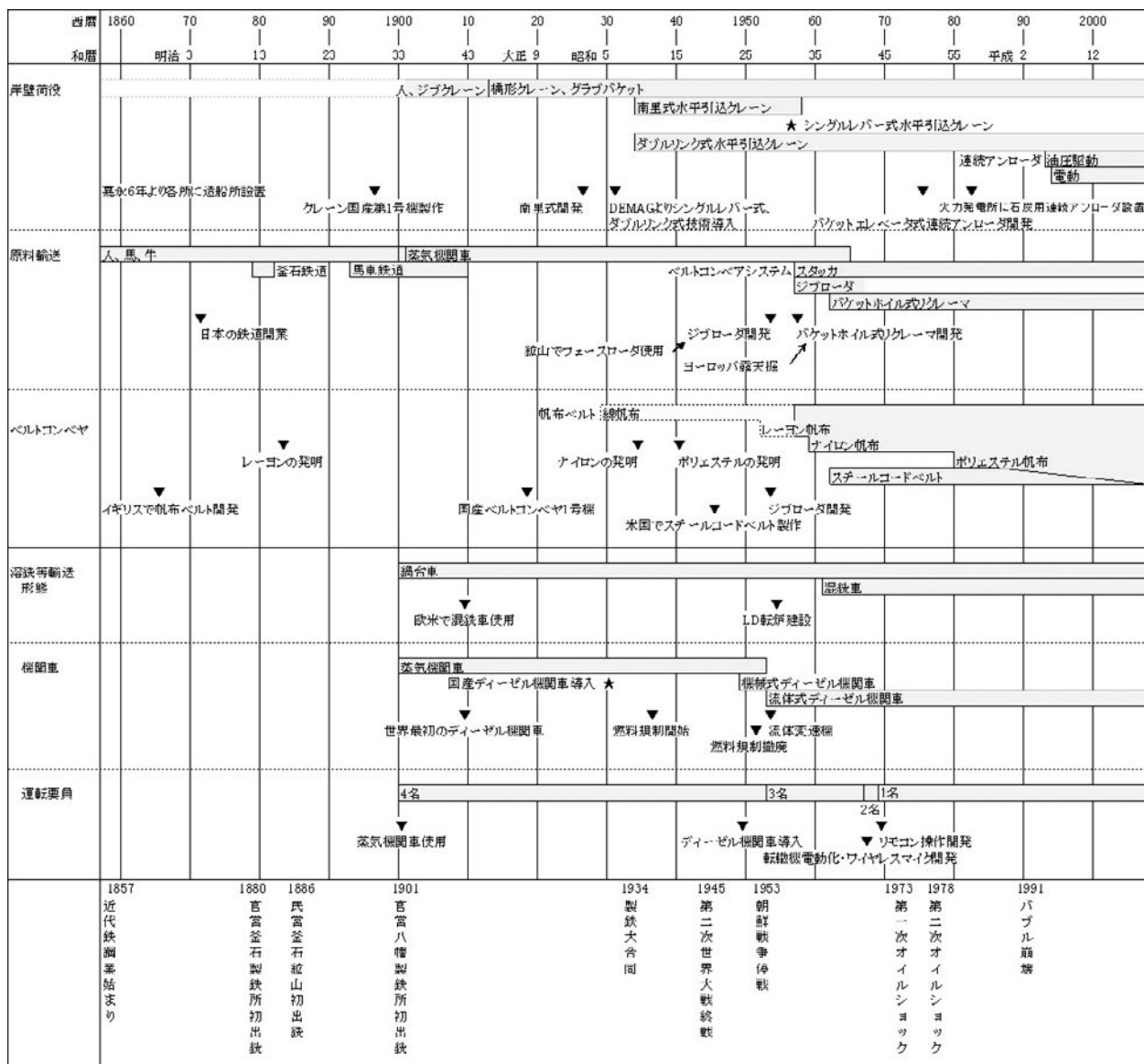


図5.1 製鉄業における輸送技術の系統化

製鉄業上工程における輸送技術の変遷を図5.1に整理した。

岸壁における荷役は初期においては人力とジブクレーンを用いてなされた。第3章3.2に記述したとおり大正の初期より橋形クレーンが導入され、その後グラブバケットを使用した荷役が始まる。

製鉄業に納入されたグラブバケットアンローダの荷役能力（t/h）の推移を図5.2に示す。

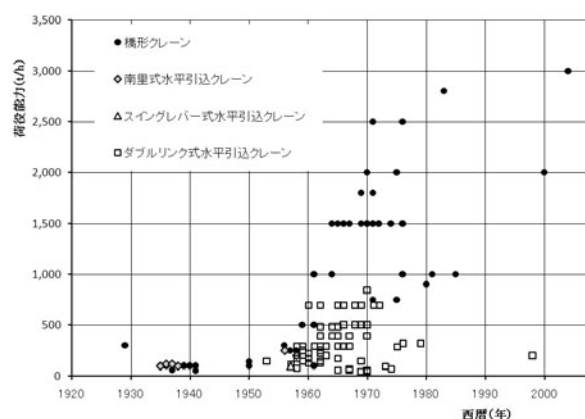


図5.2 製鉄業におけるグラブバケットアンローダの荷役能力の推移
機械メーカー各社の協力のもと筆者が作成

第1章では昭和27年以降、わが国の粗鋼生産量が飛躍的に増大し、昭和34年から増加量が加速したことを述べた。当然原料の荷役量もこれに伴い増加した。グラブバケットアンローダの荷役能力は昭和34年までは最大300t/hであったが、昭和34年に500t/hのアンローダが納入されてからどんどん大型化され、昭和58年に2,800t/hのアンローダが納入された。(直近3,000t/hのアンローダが納入されている)

製鉄業でも南里式水平引込クレーンが昭和10年(1935年)から設置されている。水平引込クレーンが数多く設置されたのは昭和30年(1955年)から昭和50年(1975年)であり、多くはダブルリンク式である。荷役能力は最大700t/h(1台のみ800t/hあり)であり、初期には鉄鉱石や石炭用にも設置されたが、石灰石等の副原料の荷役に使用されるものが多い。

図5.3に連続アンローダの荷役能力(t/h)の推移を示す。これには製鉄業以外の連続アンローダの実績も記載した。

初期の連続アンローダは一部を除きニューマチック式であり、搬送物はほとんどが小麦、大豆等の穀物である。昭和53年から平成元年の間はバーチカルスクリュー式の連続アンローダが製作された。搬送物はその多くが石炭である。バーチカルスクリュー式連続アンローダの荷役能力はいずれも500t/h以下であり、製鉄業や火力発電所には納入されていない。

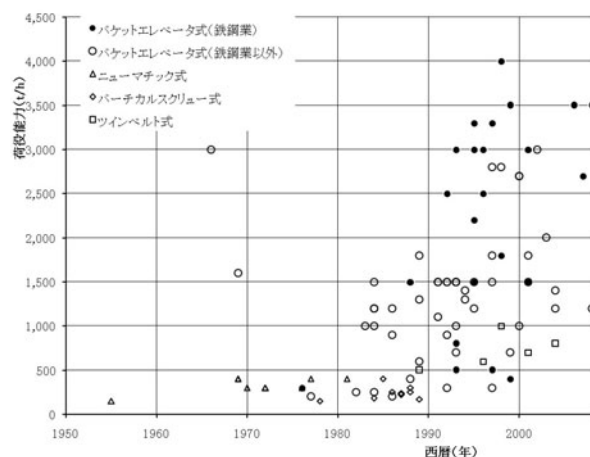


図5.3 連続アンローダの荷役能力推移
機械メーカー各社の協力のもと筆者が作成

昭和41年(1966年)にバケットエレベータを利用した岩塩荷役用の連続アンローダが三ツ子島に設置された。この機械では掘削はバケットホイールを利用している。この機械は第3章3.4.1で述べたように十分に能力を発揮できなかった。掘削までバケットチェーンで行った連続アンローダは昭和51年(1976年)に製鉄業を対象に開発された。しかしながら先に実用化された

のは火力発電所およびコールセンターである。昭和59年(1984年)には50,000DWT以上の大型船でも荷役できるよう大型の連続アンローダが開発された。そして平成元年(1989年)には荷役能力1,800t/hのアンローダが設置されている。

製鉄業では平成5年(1993年)になってやっと実用化された。平成5年以後に製鉄業に納入された連続アンローダは多くが大型船用であり、200,000DWT以上の船の荷役ができるようになっている。荷役能力も大きく平成10年(1998年)に名古屋製鉄所に納入されたアンローダは鉄鉱石4,000t/h、石炭2,100t/hの荷役能力を有している。

必要とする荷役能力がそれほど高くない場合、近年はツインベルト式連続アンローダが採用されている。これは回転する掘削ブレードで荷を切り出し、スクリューコンベアで持ち上げるとともに2枚のゴムベルトで挟んで持ち上げるもので、石炭荷役用の荷役能力1,000t/hのアンローダが平成10年(1998年)に秋田海陸運送に設置されている。製鉄業には納入されていない。

原料ヤードまでの輸送は昭和30年代に原料搬送コンベヤシステムが完成するまで蒸気機関車による輸送が主流であった。ベルトコンベヤは大正の中頃から国産品が開発され、製鉄業にも導入されていたようだがあまり普及していない。ベルトコンベヤが主流になったのはスタッカ、リクレーマが開発されてからである。図5.4に製鉄業におけるスタッカおよびリクレーマの荷役能力の推移を示す。

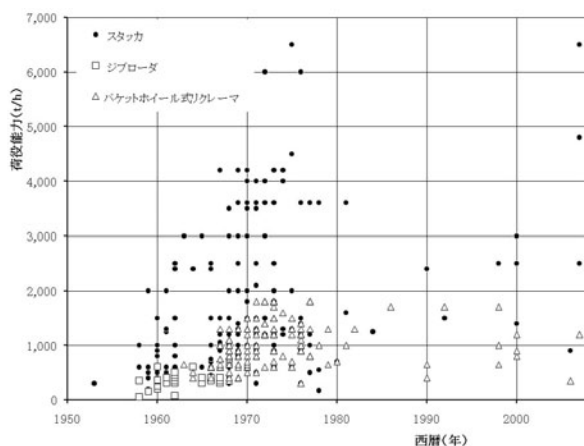


図5.4 製鉄業のスタッカおよびリクレーマの
荷役能力の推移
機械メーカー各社の協力のもと筆者が作成

昭和28年(1953年)に川崎製鉄千葉製鉄所(現JFEスチール東日本製鉄所千葉地区)に非旋回式のスタッカが納入されているが、本格的に設置されるのは昭和33年(1958年)からである。

製鉄業ではスタッカは船から荷揚げした荷の積み

に使用されるものである、できるだけ短時間で荷役することが望まれ高い処理能力が要求される。2台のアンローダから陸揚げされた原料を1本のベルトコンベヤで処理することがありその場合は2台のアンローダの合計の荷役能力が要求されることとなる。当初のスタッカは1,000t/h程度の荷役能力であったが、昭和50年（1975年）に新日本製鉄大分製鉄所に6,500t/hの三井三池製作所製石炭用スタッカが設置されている。

原料を原料ヤードから払い出すリクレーマは初期には炭鉱で使用されていたフェースローダからヒントを得て開発されたジブローダが採用された。製鉄業では昭和33年（1958年）から昭和42年（1967年）の間に多数のジブローダが設置された。荷役能力は最大600t/hである。一方、昭和38年（1963年）にヨーロッパの露天掘りの技術を導入・開発したバケットホイール式のリクレーマが製鉄業に初めて設置され、昭和42年（1967年）には1,300t/hのバケットホイール式リクレーマが設置された。これ以降製鉄業に設置されるリクレーマはほとんどがバケットホイール式に変わった。

製鉄業ではリクレーマは高炉等の次工程設備に連続的に送り出す設備である。したがって次工程設備の能力から積み出し能力が決定される。昭和46年（1971年）に新日本製鉄君津製鉄所に設置された三井三池製作所製1,800t/h粉鉱石用リクレーマが設置されたのち、住友金属工業鹿島製鉄所に7台1,800t/hの鉱石用リクレーマが設置されているが、これが製鉄業では最大でありスタッカのように大きな荷役能力を持つリクレーマは製鉄業にはない。

しかし、リクレーマでも払い出した荷を船積みする場合は大きな能力が必要となる。石川島播磨重工業（現：石川島運搬機械）は昭和47年（1972年）にブラジルのリオドセに16,000t/hのスタッカ、8,000t/hのリクレーマを納入した。また同年にブラジルのMBRに7,000t/hのスタッカリクレーマを納入した。

溶銑・溶滓の輸送は当初から鉄道輸送によっている。そして当初は蒸気機関車による牽引であったのが、昭和30年代にディーゼル機関車による牽引に替わったことを第4章4.2で述べた。

溶銑・溶滓を輸送する能力について、輸送速度は安全上の問題からあまり変わっていない。積載重量は初期の鍋方式の場合は10tonから50ton程度であった。しかし輸送量の増加から積載重量の増加が望まれた。この要求から混銑車が開発されたことは第4章4.1に述べたとおりである。そして混銑車が導入された最初から積載重量の最大化が計画された。最大積載重量は軌条間隔によるところが大きい。創業の早い製鉄所ではJRと同

じ軌間1,067mmを使用しているところが多く、その製鉄所では混銑車の積載重量は150ton程度となる。標準軌1,435mmを使用している製鉄所の混銑車の積載重量は最大320tonとなっており、軌間1,676mmの大分製鉄所では600tonである。このように新しい製鉄所ほど積載重量が大きくなっているが、それぞれの製鉄所では混銑車の積載重量の変化はほとんどない。実際の輸送量の増加には車輛運行台数を増加することで対応している。

以上のように粗鋼生産量拡大の要請に対してそれぞれの輸送機器を開発し輸送能力を増大することにより応えてきた。

戦争により壊滅的な被害を受けたわが国の製鉄業は欧米から圧倒的に遅れていた。これが非常に短期間で肩を並べ、あるいは凌駕するようになるには社団法人日本鉄鋼協会が大きな役割をはたしている。

社団法人日本鉄鋼協会は、大正4年（1915年）に設立されたがその目的は「鉄及び鋼に関する学術経済その他一切の問題を研究調査し本邦における該事業の改良発達を期するにあり」とされている。¹ そしてその活動の一つとして昭和29年（1954年）に共同研究会が設立された。共同研究会は7部会で組織され、鉄鋼各社のそれぞれの分野の技術者が集まり技術的な情報交換を行った。その中の一つである設備部会では鉄鋼各社のみでなく製鉄機械メーカーの技術者も参加した。この場では使用中の設備に対するアンケートを行い、問題点を明らかにした。これを次の開発につなぐことができた。さらにこの場では新しい技術に関する情報を交換することも行われた。このような競争相手と情報交換を行う行為は欧米では考えられないことであり、わが国独特の活動である。

さらにこの協会活動は鉄鋼会社の技術者と製鉄機械メーカーの技術者を親密にすることに役立った。このことにより設備にトラブルが発生すると製鉄会社の技術者はメーカーの技術者と相談し問題を解決することが常となった。メーカーにとってトラブル解決に対して出費があるものの貴重な設備情報を入手できる利点は非常に大きい。さらにメーカーは同じトラブルを発生させないように他のユーザーに情報を流すこともした。

こういった一連の活動は設備の稼働率を向上させるとともに技術の向上に大いに役立ち、結果として技術の向上と飛躍的な生産量増大を得ることができた。

今やわが国の製鉄業はトップクラスとなり追われる立場となった。世界がグローバル化され企業競争が激しくなり、情報の管理がより厳しくなっている。そんな中で日本流の情報交換をどう活かして開発につなげていくかが今後の課題である。

引用文献

- 1 日本鉄鋼協会編「創立70周年記念 日本鉄鋼協会史」25p（昭和60年）

6 | あとがき・謝辞

製鉄業は近代鉄鋼業が生まれて150年になる。そして戦後大きく発展しいまでは世界を牽引する技術を有している。このように鉄の製造技術は産業の花形でありその技術の発展の過程は多くの書籍に残されている。しかしながら製鉄業において輸送部門は付属設備であり重要視されておらず、その記録はあまり残っていない。輸送機械を製作する機械メーカーにおいては輸送機械はその一部であり、さらに製鉄業に納入する機器はそのまた一部であるという関係上多くの記録を望めない。

そういった環境の中、機械メーカーの輸送機製造部門の方々からヒアリングを重ねることと数少ない文献を読むことで輸送設備の系統化を行った。筆者の力量不足もあり、歴史を網羅できていないことをお許しいただきたい。今後読者の皆様からご指摘を頂き系統化を精査していければさらに充実できることと期待する。

今回本稿をまとめるにあたって、先人が種々苦労を重ねられ今日の設備が出来上がったことに感銘をうけるとともに、これらの事情を目の当たりされた方々が現役を退かれていることを改めて知らされた。これらの貴重な知見が一部でも集積されたことに安堵感を覚えるとともにこの調査が時宜を得たものであったと痛感する。文献収集、調査などにお忙しい中も多大なるご協力を賜った下記の各位に深く感謝申し上げます。

石川島運搬機械株式会社

島村信太郎氏、宮澤勲氏、木附重蔵氏、森勉氏

元石川島播磨重工業株式会社 石田恭久氏

川崎重工業株式会社 小河原誠氏

JFEスチール株式会社 益本慎一氏

四国電力株式会社 隅田英次郎氏

新日本製鉄株式会社

水口政義氏、福田政信氏、清田康稔氏、占部剛氏

元新日本製鉄株式会社 堀川吉一氏

住友重機械エンジニアリングサービス株式会社

山中正夫氏

日鉄運輸株式会社 後藤武氏

社団法人日本クレーン協会

清田茂氏（新日鉄より出向）

株式会社三井三池製作所

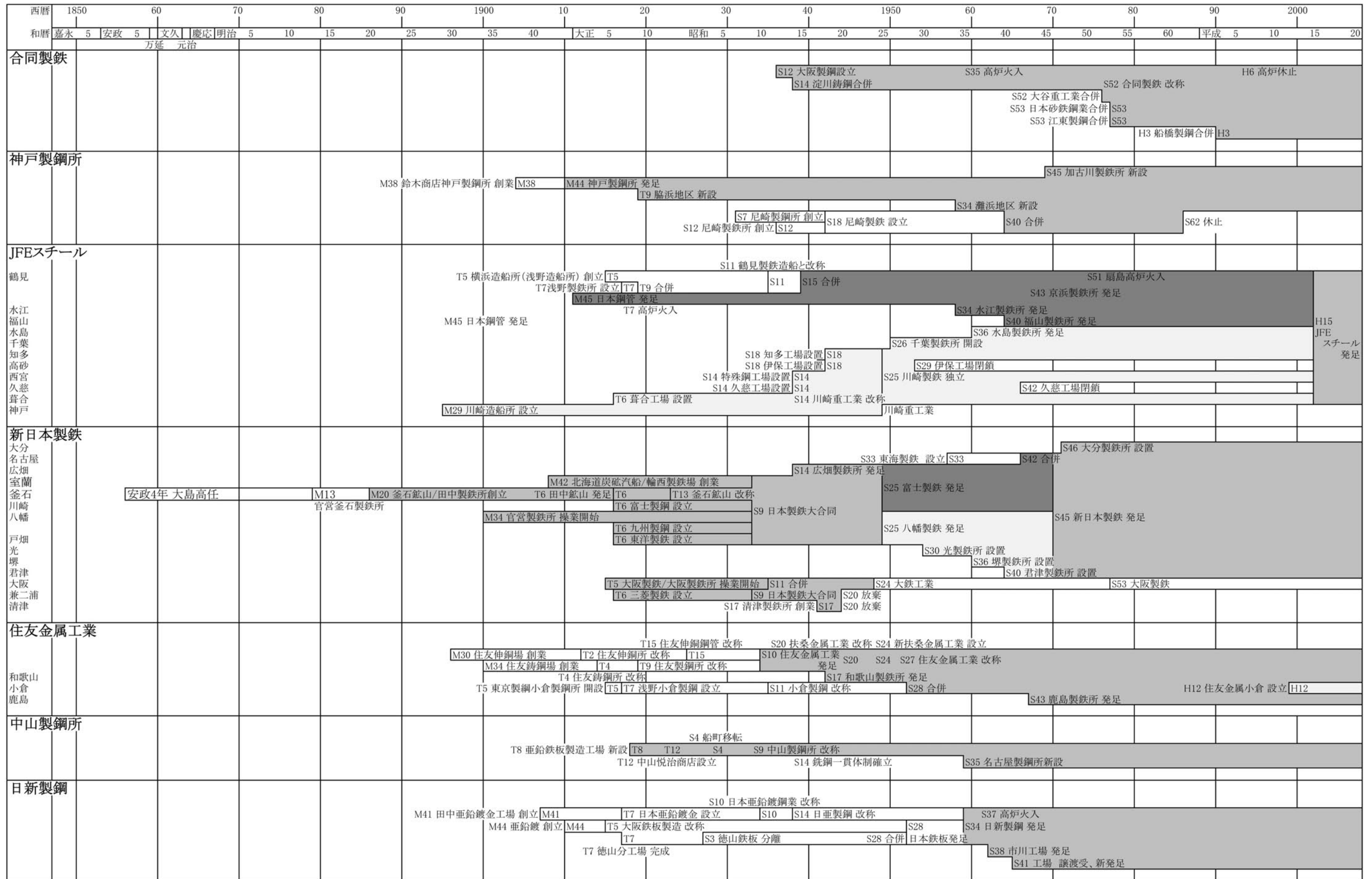
猿渡次雄氏、伊藤八朗氏

三菱重工業株式会社 白井泰裕氏

登録候補一覧

番号	名称	資料形態	所在地	制作者	製作年	コメント
1	浅野小倉製鋼 水平引込式クレーン 設計図	設計図 (第1原図)	住友重機械 エンジン・アライングサービス	住友重機械 エンジン・アライングサービス (当時 住友機械製作)	1935年	本機は鉄鋼業に納入されたダブルリンク形水平引込クレーンの第1号機である。ダブルリンク形水平引込クレーンはリンク機構によりジブそのものが水平に引き込まれるため、ジブ先からフックまでの高さが変わらない。その結果、荷の振れが少なく、荷役の高速化、効率化を実現した。現在、本型式のクレーンはその性能の高さから、鉄鋼業をはじめとする港湾荷役の現場でもっとも普及している。(全141台中23枚保存)
2	新日本製鉄大分製鉄所 連続アンローダー 設計図	設計図 (第1原図)	住友重機械 エンジン・アライングサービス	住友重機械 エンジン・アライングサービス (当時 住友重機械工業)	1976年	本機は実用機として世界初となるバケットエレベータ形連続アンローダーである。本機は製鉄原料用小型機であるが、将来の主原料用大容量連続アンローダーのテストプラントとしての位置づけで基礎データの蓄積、及び台容量化への開発研究がなされた。現在、製鉄主原料用アンローダーとして連続アンローダーが主流となっているが、その礎を築いた設備である。(全1172枚保存)
3	四国電力西条火力発電所 連続アンローダー 設計図	設計図 (第1原図)	住友重機械 エンジン・アライングサービス	住友重機械 エンジン・アライングサービス (当時 住友重機械工業)	1983年	本機は石炭火力発電所燃料炭陸揚げ用としては国産1号機となる連続アンローダーである。本機は1,000t/hの能力を持っており、現在の大容量連続アンローダーの原型をなすものである。本機の稼動実績により連続アンローダーの高速率、高信頼性、及び高度の環境対応性が評価され、その後の連続アンローダーの急速な普及に大きく貢献した設備である。(全1471枚保存)
4	日本鋼管福山製鉄所 鉄鉱石・石炭兼用 連続アンローダー	実物	JFE西日本製鉄所福山	石川島運搬機械 (当時 石川島播磨重工業)	1994年	本機は鉄鉱石・石炭兼用の大容量連続アンローダーとして建設された世界2号機である。しかし1号機が早期に改造されたので本機が実質1号機である。本機はバケットエレベータの駆動を上下に配置するなどの工夫を加えることで鉄鉱石の荷役も可能にし、その性能の高さを実証した。この実績を元に、鉄鋼業におけるその後の連続アンローダーの急速な普及に大きく貢献した設備である。

製鉄会社の沿革



各社の社史およびホームページ他を参考に筆者が作成

輸送機器を製作する機械メーカーの沿革



各社の社史およびホームページ他を参考に筆者が作成

製鉄会社関係参考文献

合同製鉄	合同製鉄ホームページ
神戸製鋼所	神戸製鋼所編「神戸製鋼70年」(昭和49年)
JFEスチール	川崎製鉄編「川崎製鉄五十年史」(平成12年)
	日本鋼管編「日本鋼管株式会社七十年史」(昭和57年)
新日本製鉄	日本製鉄株式会社社史編集委員会編「日本製鉄株式会社史」(昭和34年)
	新日本製鉄編「炎とともに 新日本製鉄株式会社十年史」(昭和56年)
	新日本製鉄編「炎とともに 富士製鉄株式会社史」(昭和56年)
	新日本製鉄編「炎とともに 八幡製鉄株式会社史」(昭和56年)
住友金属工業	住友金属工業編「人と技術と住友金属の100年」(平成9年)
	住友金属工業小倉製鉄所編「小倉製鉄所40年史」(平成5年)
中山製鋼所	中山製鋼所ホームページ
日新製鋼	日新製鋼編「日新製鋼新発足十年史」(昭和44年)

機械メーカー関係参考文献

石川島運搬機械	石川島播磨重工業編「石川島播磨重工業社史」(平成4年)
	石川島運搬機械 ホームページ
川崎重工業	川崎重工業編「川崎重工業株式会社社史(別冊)一年表・諸表ー」(昭和34年)
住友重機械エンジニアリングサービス	住友重機械工業 ホームページ
	住友重機械工業横須賀造船所編「浦賀・追浜百年の航跡」(平成9年)
	住友重機械エンジニアリングサービス ホームページ
日本車輛製造	日本車輛製造編「邁進100年第2部 次代へのインストラクチャー」(平成9年)
三井三池製作所	三井三池製作所 ホームページ
三菱重工業	三菱重工業株式会社社史編纂室編「三菱重工業株式会社史」(昭和31年)
	三菱重工業編「海に陸にそして宇宙へ 資料編 続三菱重工業社史 1964-1989」(平成2年)

国立科学博物館 北九州産業技術保存継承センター
技術の系統化調査報告
共同研究編 第2集

平成20(2008)年3月28日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
北九州産業技術保存継承センター
〒805-0071 福岡県北九州市八幡東区東田2-2-11
TEL：093-663-5411
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク