
大型連続式アンローダによる原料荷揚げ工程の合理化

Rationalization of Cargo Operation by Continuous Ship Unloader

大神 正通(Masamichi Ohgami) 細見 和夫(Kazuo Hosomi) 林岡 卓己(Takumi Hayashioka)

要旨：

川崎製鉄水島製鉄所原料岸壁において、世界最大級の鉱石、石炭兼用連続式アンローダを導入した。本アンローダにおいては、4 連、5 連同時操作を必要とする複雑な動作の連動化や地上コンベアへの定量払出しと定量安定掘削、拡大・縮小可能なティーチングプレイバック方式自動運転機能など、これまでの連続式アンローダにはなかった高効率化のための機能が開発、実用化されている。現在本設備は所期の目的とした荷役効率を維持し、原料荷役能力向上に大きく寄与している。

Synopsis：

At the raw material wharf of Kawasaki Steel's Mizushima Works, a continuous ship unloader has been installed, which has the largest capability in the world and is designed to unload both iron ore and coal. This unloader has an advanced control system of high unloading efficiency, for which, control of various combined motions, stable digging, constant feeding and other automatic operations were developed and applied. The facility has maintained originally planned unloading efficiency and contributed to the quickest unloading of raw materials.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

大型連続式アンローダによる原料荷揚げ工程の合理化* 川崎製鉄技報 29 (1997) 1, 19-23

Rationalization of Cargo Operation by Continuous Ship Unloader



大神 正通

Masamichi Ohgami
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(掛長)



細見 和夫

Kazuo Hosomi
水島製鉄所 制御技術
部制御技術室



林岡 卓己

Takumi Hayashioka
川鉄物流(株)水島支社
技術部技術室 主査
(副部長)

要旨

川崎製鉄水島製鉄所原料岸壁において、世界最大級の鉱石、石炭兼用連続式アンローダを導入した。本アンローダにおいては、4連、5連同時操作を必要とする複雑な動作の連動化や地上コンベアへの定量払出しと定量安定掘削、拡大・縮小可能なティーチングプレイバック方式自動運転機能など、これまでの連続式アンローダにはなかった高効率化のための機能が開発、実用化されている。現在本設備は所期の目的とした荷役効率を維持し、原料荷役能力向上に大きく寄与している。

Synopsis:

At the raw material wharf of Kawasaki Steel's Mizushima Works, a continuous ship unloader has been installed, which has the largest capability in the world and is designed to unload both iron ore and coal. This unloader has an advanced control system of high unloading efficiency, for which, control of various combined motions, stable digging, constant feeding and other automatic operations were developed and applied. The facility has maintained originally planned unloading efficiency and contributed to the quickest unloading of raw materials.

1 緒 言

連続式アンローダ (CSU) は、これまで火力発電所などの石炭荷役が主流であったが、近年鉄鉱石荷役を行う製鉄所においてもその導入が行われている。その理由としては従来のグラブバケット式アンローダに対し高効率な荷役が可能であり、原料輸送コストの削減が期待できることである。現在国内7製鉄所で8基の鉄鉱石・石炭兼用大型連続式アンローダが稼働しており、水島製鉄所においても原料荷揚げ能力の向上および既設アンローダの更新を目的として、1995年10月より鉄鉱石・石炭兼用の大型連続式アンローダを稼働させた^{1,2)}。このアンローダは以下のような特徴を有する。

- (1) 4連、5連同時操作を必要とする複雑な動作の連動制御化
- (2) 定量安定掘削および地上コンベアへの定量払出し制御 (±3% 以内)
- (3) 高圧水棚落し装置による船内作業の軽減
- (4) バケットエレベータ駆動の電動化によるメンテナンスコストの軽減および軽量化
- (5) ブームが急傾斜になってもヘドロ状原料の荷役を可能とするため、棧付コンベアの採用
- (6) ティーチングプレイバック方式自動運転の導入

本報においては水島製鉄所に導入した連続式アンローダの設備概要と稼働状況について述べる。

2 設備概要

2.1 連続式アンローダの概要

連続式アンローダの全景および鳥瞰図を Photo 1, Fig. 1 に示す。設備の構成としては掘削部、バケットエレベータ (BE) のあるコラ

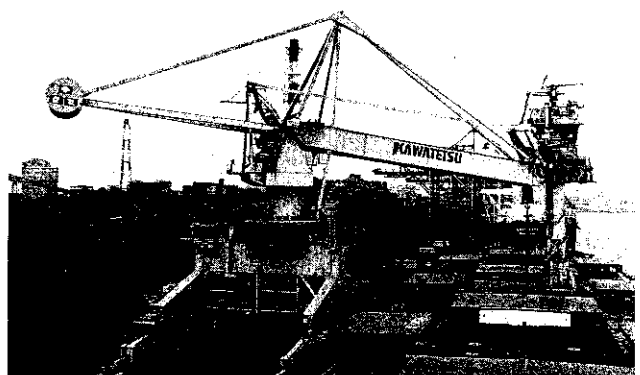


Photo 1 Continuous ship unloader

* 平成9年2月6日原稿受付

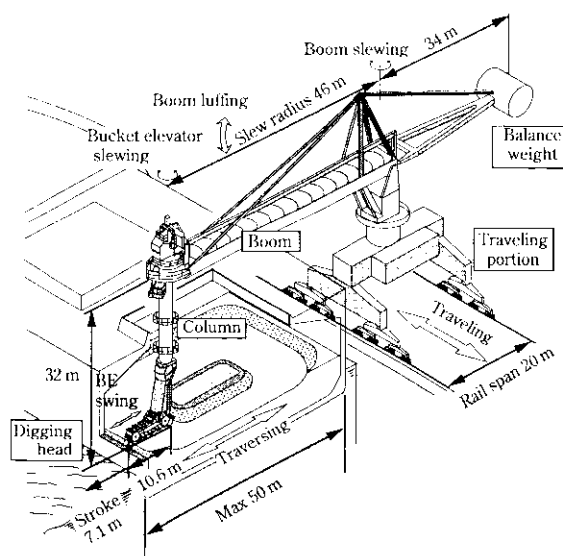


Fig. 1 Unloader structure and motion

Table 1 Concept of introduction for continuous ship unloader

Concept	Contents
Capacity (Maximum economic gains)	• Ore : 3 300 t/h • Coal : 2 200 t/h - Chain speed Max. 90 m/min (Coal)
High efficiency	• Control of combined motions • Water jet nozzle (20.6 MPa) • Constant feeding : Accuracy 3%
Cope with different ore	• Corrugated sidewall belt (For sinter, slurry ore) • Countermeasure for sticking ore and spillage
One-man operation	• ITV camera • Sensing (Bulk head, Shoulder, Surface of material) • Automatic operation (Teaching and playback)
Others	• Inverter drive of bucket elevator (Low running costs) • Monitoring oscillation of bearing

ム部、およびブーム部、脚部よりなる。基本動作は脚部の走行、ブーム部の起伏と旋回、BE部旋回、およびスイングの5つがあり、BEの駆動とこれらの基本動作の組み合わせにより掘削部を船内で周回させながら掘削を行う。スイングにより船壁近くまで掘削が可能であることや、揚程により荷役能力が影響されないため、従来のクラブバケット式アンローダに比べて高い荷役効率が期待できる。

2.2 設備コンセプト

Table 1 に今回導入した連続式アンローダの設備コンセプトを示す。原料輸送コスト削減を図るという観点から、能力は最大かつ高効率化を志向している。例えばオペレータの操作性を向上させるため複雑な動作の連動制御化、地上コンベア能力を最大限に活用するための定量払出し制御、棚落とし用高圧水ノズルによる船内掻き出し作業の軽減などがそれにあたる。

また特殊銘柄対応として、ヘドロ状原料荷役のためや、焼結鉱の粉化防止のためブームコンベア、垂直コンベアの棧付ベルト化を行った。さらに機上ワンマンオペレーションのための機能としては、

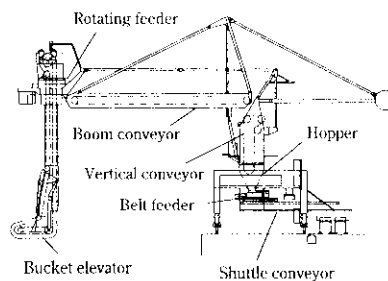


Fig. 2 Flow diagram of continuous ship unloader

Table 2 Main specifications of continuous ship unloader

Capacity	(t/h)	Ore : 3 300 Coal : 2 200
Vessel size	(DWT)	30 000~220 000
Traveling	(m/min)	max. 20 (VVVF)
BE Slewing	(rpm)	max. 0.5 (VVVF)
Bucket speed	(m/min)	max. 90 (VVVF)
Boom conveyor speed	(m/min)	210/140 (Coal/Ore)
Vertical conveyor speed	(m/min)	165/110 (Coal/Ore)

VVVF: Variable voltage and variable frequency

ITV 監視、センサによる船壁検出機能、自動運転機能などがある。棚落とし操作は、自動運転中に行うことで連続掘削を可能とした。

2.3 設備仕様

Fig. 2 に連続式アンローダの搬送系のフローを示す。掘削された原料はバケットエレベータで上部に上げられブームコンベア、垂直コンベアを通してホッパに蓄えられる。このホッパからベルトフィーダで一定量切り出され、払出しコンベアから地上コンベアに払出しされる。

Table 2 に主な仕様を示す。能力は鉄鉱石 3 300 t/h、石炭 2 200 t/h と世界最大級であり、この能力に合わせて各搬送系の速度などが設定されている。中でもバケットエレベータの駆動は従来の油圧方式から大型機では初の電動化とし、ブーム先端部の軽量化およびメンテナンス性を図った。なお連続式アンローダは鉄鉱石、石炭兼用であるため搬送系の速度も異なるが、速度別に原料の流れをシミュレーションで解析³⁾し、適正なシュートライナの位置などを検討した。

2.4 レイアウト

水島製鉄所原料岸壁は Fig. 3 のように4つのバースで構成されている。その内 10 万トン以上の大型船が接岸するのは E、F、G の3つのバースである。そこでは 1 500 t/h のクラブバケット式アンローダが6基稼働しているが、連続式アンローダは大型船対応として

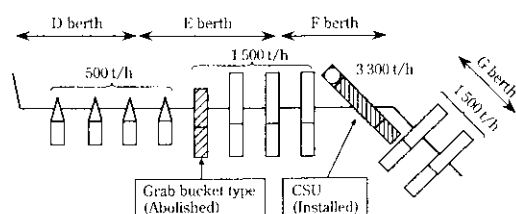


Fig. 3 Layout of Mizushima raw material wharf

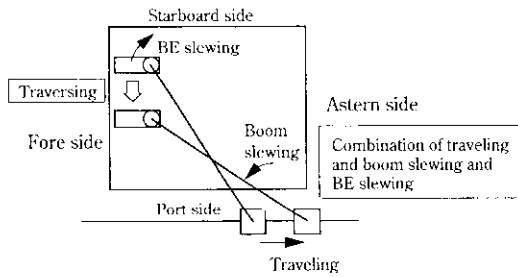


Fig. 4 Traversing control

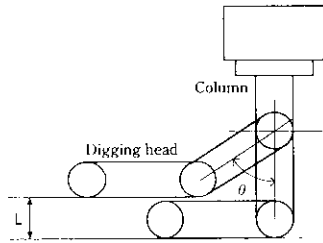


Fig. 5 Swing and luffing control

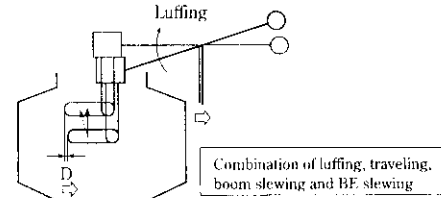


Fig. 6 Vertical luffing control

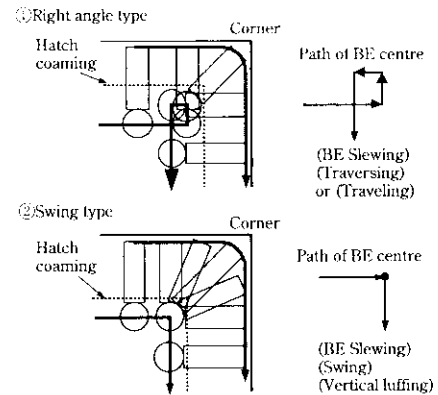


Fig. 7 Corner digging control

鉄鉱石、石炭兼用のFバースに設置した。なお連続式アンローダ設置に伴い、老朽化したグラブバケット式アンローダ1基を廃却した。

3 荷役効率向上のために開発した機能

3.1 複雑な動作の連動制御化

前に述べたように連続式アンローダは5つの基本動作を組み合わせで先端の掘削部を移動させる設備である。例えば Fig. 4 に示すように掘削部を海陸方向に移動させる横行動作は走行、ブーム旋回、バケットエレベータ部旋回の3つの動作の組み合わせであり、オペレータは本来3つのレバーを同時に操作しなければならない。したがって従来よりこのような動作は1つのレバー操作で可能のようにプログラムされている。また Fig. 5 に示すようなスイング（角度 θ ）出し引き時に掘削部高さ（ L 寸）が変動するため、ブーム起伏でレベルを維持するスイング起伏連動動作なども同様である。今回導入された連続式アンローダは、従来からの連動操作に加え、新しい連動操作を開発することによりさらなるオペレータの操作性向上を図った。例えば Fig. 6 に示すように、ブーム起伏操作に伴い掘削部は前後（ D 寸）する。しかし荷役中は掘削部を垂直に上下（段替、ブル吊りなど）させる必要があり、起伏、走行、ブーム旋回、バケットエレベータ旋回の4動作を1つのレバー操作だけで可能な垂直起伏連動制御を開発した。さらにコーナ取りも複数操作の組合せが必要であり（Fig. 7）、掘削部先端が船壁面と一定間隔を保ったコーナ掘削を可能とする2つのタイプの連動制御を開発した。1つは船内がせまい船用に掘削部とコラムが一体で移動する直角コーナ取りで、バケットエレベータ旋回、ブーム旋回、走行の3動作の組合せである。もう一つは船内が広い船用にコラムは固定でバケットエレベータ旋回の際にスイングを出し引きするスイングコーナ取りで、スイング動作の時にコラム部の垂直起伏のため走行、ブーム旋回を伴うため計5動作の連動となる。

3.2 定量掘削、定量払出し制御

地上コンベアと連続式アンローダの走行との相対速度関係を

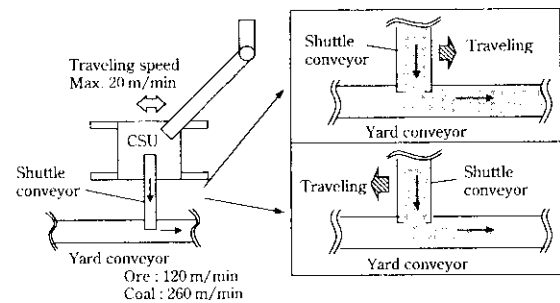


Fig. 8 Relationship of unloader and yard conveyor

Fig. 8 に示す。連続式アンローダは基本的に船内を周回掘削するものである。その間機体はほとんど走行しており、その方向、速度は常に変化している。一方地上コンベアは一定方向に一定速度で運転していることから、アンローダの払出しコンベアから地上コンベアに一定量の払出しをしたとしても、地上コンベアの積載量は相対速度差より $\pm 17\%$ 程度変化することになる。一方地上コンベアの制限は、瞬間最大送量で上限が決められており、アンローダからの払出し量が増えれば、受入量の上限を越えない範囲に払出し量を低下させなければならなかった。

この問題を解決するため、ホッパから原料を切り出すベルトフィーダおよび機内コンベアをVVVF化した。Fig. 9 に示すように連続式アンローダと地上コンベアの相対速度から、ベルトフィーダと払出しコンベアの変速を制御して、地上コンベアの搬送量が一定量になるようにアンローダの払出し量を制御するものである。この制御を導入することにより、地上コンベアでの搬送量の変動が $\pm 3\%$ 以内に抑制することができ、地上コンベア能力を最大限に使用した荷役が可能となった。

一方掘削部についても定量安定掘削を行う。1つは掘削面をセンサで測距し、掘削深さが一定になるように起伏動作で制御する深さ

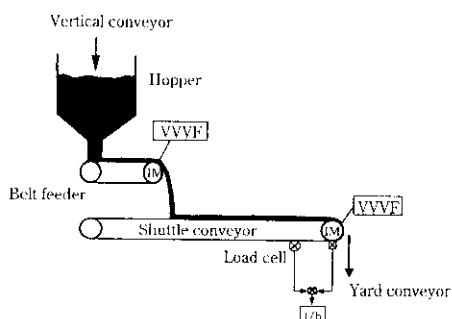


Fig. 9 Constant feed control

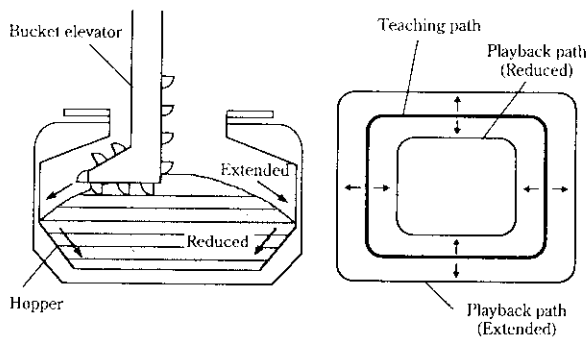


Fig. 10 Teaching and playback automatic operation

一定制御であり、もう1つは掘削量過大によるBEのトルク上昇やホッパレベル上昇時などに、横送り速度とBE速度を一時的に低下させて掘削量を下げるピークカット制御と、掘削量過少時に横送り速度を増速させるオーバートップ機能である。

3.3 ティーチングプレイバック方式自動運転

ティーチングプレイバック制御は荷役における各々のステップ(周回、往復など)の1サイクルの模範運転を制御装置に記憶し、再現するものである。しかしながら鉄鉱石荷役においては Fig. 10 に示すように原料面の稜線角度に沿って拡幅しながら周回掘削を行い、その後ホッパ部に沿って縮小掘削を行うため、1回のティーチングデータはすぐに使えなくなる。このため水島製鉄所に導入した連続式アンローダにおいては、1サイクルごとにティーチングした軌跡をプレイバック運転にて任意に拡大・縮小できる機能を付加している。これによりオペレータによるティーチング頻度の増加を抑制し、自動運転使用率 60% 以上が確保できるようになった。

3.4 付着、落粉対策

連続式アンローダで扱う鉄鉱石は石炭に比べ重く、しかも微粉鉄石など非常に付着性の強いものが多い。搬送物の付着を放置しておくことは、QA 上の問題ばかりでなく、構造体への損傷、岸壁耐力への障害が生じることになるため、付着しにくい構造および付着した場合の対策について検討した。Fig. 11 に連続式アンローダの付着対策をまとめた。基本的には BE コラム部の円形化や回収コンベアなどにより落粉が溜らない構造とすることと、起伏シリンダ油圧による付着量監視および付着物の除去を容易に行うための水洗ピットの設置 (BE、コラム内用) と搬送系への水洗用ノズルの設置など付着時の機械保護対策に分けられる。

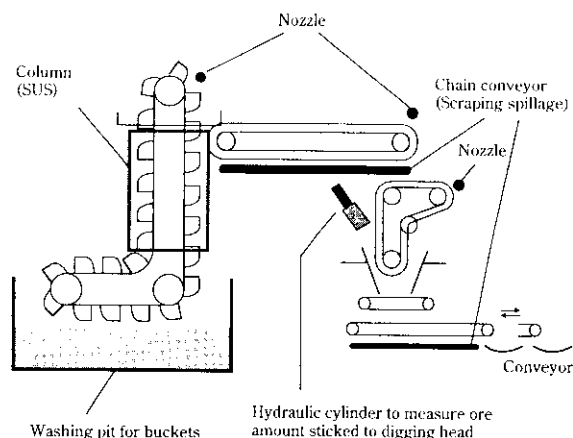


Fig. 11 Countermeasure for sticking ore and spillage

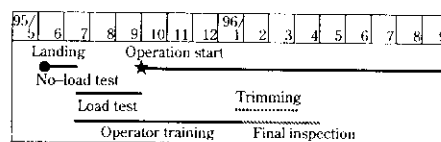


Fig. 12 Rating up schedule

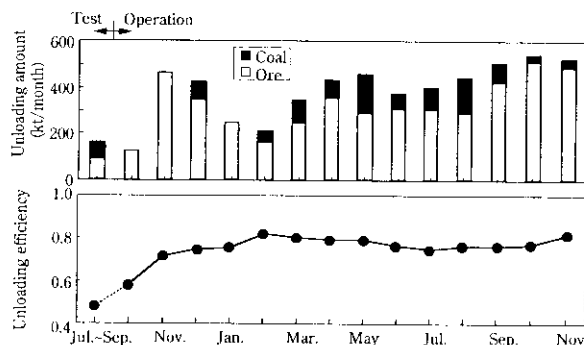


Fig. 13 Operation records

4 実績

4.1 立ち上げ工程

Fig. 12 に連続式アンローダの立ち上げ工程を示す。1995 年 6 月に据付を行い、無負荷、負荷試運転を行った後、10 月より本格稼働に入った。一方オペレータ、合図者の養成は負荷運転開始から約 6 ヶ月間実施した。

4.2 荷役実績

Fig. 13 に荷役量および荷役効率の実績を示す。1996 年 1 月から 3 月までは能検テストで荷役銘柄指定のため荷役量は一時的に下がっているが、稼働後の月間平均は約 40 万トン程度である。これまでの総荷役量は約 560 万トンであり、総荷役量の内訳はおよそ 80% が鉄鉱石、20% が石炭という構成である。なお今後はさらにオペレータの養成を行うのに伴い連続式アンローダの荷役比率を上げていく予定である。

一方荷役効率（荷役量／掘削時間／公称能力）は稼働当初は0.6程度と低かったが、オペレータの習熟度アップ、荷取り方法の確立および設備の改善などにより現在は0.8まで向上した。

4.3 導入効果

連続式アンローダの導入をはじめ下流側コンベアの設備改善などを実施し、年間約6000時間あまりの停泊時間削減効果があり、原料輸送コストの削減に大きく寄与している。

5 結 言

(1) 水島製鉄所における原料荷役能力向上を目的として1995年6

月に連続式アンローダの導入を行った。導入に際しては多種性状の鉄鉱石に対応し、かつ高効率な荷役を行うために以下のような諸機能を開発、導入した。

- ① 棧付コンベアの採用（ヘドロ状鉱石、シンター荷役対応）
- ② 4連操作、5連操作を必要とする複雑な動作の連動制御化
- ③ 地上コンベアへの定量払出し制御
- ④ ティーチングプレイバック方式自動運転
- ⑤ 付着鉱石対策

(2) 稼働後1年経過した現在、上記諸機能も十分に実用化され、オペレータ、合図者の習熟度の向上に伴い、荷役効率は0.8で安定しており、原料荷役能力向上に大きな効果をあげることができた。

参 考 文 献

- 1) 大神正通、細見和夫、平子宏治、兼田経博：CAMP-ISIJ, 9(1996)741
- 2) 林岡卓巳：日本鉄鋼協会、生産技術部門 第21回物流部会資料(1996)
- 3) 井田 傑、藤田昌男：CAMP-ISIJ, 8(1995)1091