機械事業本部 Mechanical Engineering Unit

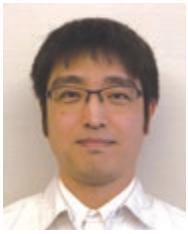
船舶用セルフアンローダーの建設

Construction of Self-unloader for Ships

森 雅宏
Masahiro Mori
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉プラントエンジグループ

土手 高広
Takahiro Dote
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉プラントエンジグループ

松村 一樹
Kazuki Matsumura
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉プラントエンジグループ



須郷 雅隆
Masataka Sugo
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉機械技術グループ

正木 將太
Shota Masaki
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉機械技術グループ

森 達也
Tatsuya Mori
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉電気技術グループ

川島 寛也
Tomoya Kawashima
エンジニアリング事業部
機械エンジ1部
呉電気技術グループ

福岡 清人
Kiyoto Fukuoka
エンジニアリング事業部
工場管理グループ

藤原 康一郎
Koichiro Fujiwara
営業部
プラント営業2グループ

当社機械エンジ１部の主要製品の一つである「プラント輸送機械コンベヤ設備の建設例」として2018年初めに初船立上げを行った『船舶用セルフアンローダーの建設』を紹介する。本船の設備は機械エンジ４部が納入した石灰石セルフアンローダー：SUL（TEXENG Report2019No.002で報告済み）と組み合わせ使用する船側の設備で、詳細な取り合い調整を行った結果、客先からも高評価を受けた。当社の強みである機電一体での取り組み、さらに営業・製作（阿賀工場、海外製作）・検査・購買とすべての部署が連携・結束し、客先２社に亘る、計３船への搭載を実現した案件である。

As an example of the construction of "Plant Transport Machinery Conveyor Equipment", one of the main products of our Mechanical Engineering 1st Department, we introduce the "Construction of Self-unloader for Ships", which started in early 2018.
This vessel's equipment is ship-side equipment used in combination with the Limestone Self-Unloader (SUL) which is installed by the Mechanical Engineering 4th Department (reported in the TEXENG Report 2019 No.002). As a result of careful negotiation and coordination, we received high evaluation from the client.
Utilizing our strengths in mechanical and electrical technologies, all departments, -including sales, manufacturing (Aga Factory and overseas factory), inspection, and purchasing-, worked together to realize the installation to three ships for two clients.

1. 設備概要

石灰石は製鉄の精錬には不可欠な副原料で日本国内唯一自給可能な自然資源として日本各地に点在している。各製鉄所では大量の石灰石を使用しており、各地の石灰石貯蔵切出港から各製鉄所まで船舶で輸送し、荷揚げを行い、原料ヤードへ蓄積し使用している。日本製鉄株式会社殿東日本製鉄所の鹿島地区と君津地区の両製鉄所で使用している石灰石原料は、粉状と塊状の2種類で、1航海で2銘柄を同時輸送するが、その都度積込割合が異なる。輸送ルートとしては国内各所の石灰石貯蔵切出港から鹿島・君津の間を運航している。

本件はNSユナイテッド内航海運株式会社殿2船+日鉄物流株式会社殿1船の案件で、3船は同一仕様の兄弟船であり、多航路を3船どの船でも同様な運航を可能とする事により、運航効率を上げることが条件であった。船本体は客先より直接造船所へ発注され、当社範囲は船内の荷役設備の設計、製作、造船所へ納品、電気盤・制御システム、造船所での据付指導員派遣、試運転調整である。

船製造方法のブロック工法に合わせた設備分割・取合、組立範囲等の調整を造船所と当社で行い、干渉・トラブル等無く完成した。

図1：船全体観（君鉄丸殿）

2. 経過

3船受注により、初船から最終船の立ち上げまで3～4年の工期にてスタートした。

1船目八戸丸の海上試運転、初荷揚げを皮切りに、君津丸、君鉄丸まで3船の初出航は数ケ月づつズレが有るものの、すべての工程が同時進行し過密な業務となった。しかし関係部署の連携・協力により、約4年間の工期の間、工程遅れも無く無事に3船とも完遂した。

3. 設計上の問題点と解決策

設計に当たり客先要求レベルは高く、多くの難題が有った。主な問題点と実施した解決策を報告する。

▶3.1　大容量搬送能力

(1) 問題点

揚げ地着岸時の揚げ荷役は10（平均8）時間で完了しなければならず、要求運搬能力コンベヤ最大級の搬送能力となり、特に船底から甲板上のブームコンベヤまで揚げるループコンベヤの大容量化が必要で、本設備最大の難題であった。

(2) 解決策

ループコンベヤの簡易テスト機を製作する一方、客先より原料を支給して頂き、当社阿賀工場で荷崩れ・落下しないベルト最小張力の実証に用いた。コンベヤ基本仕様の、積載量・ベルト幅2400mm・ベルト張力・ローラピッチ・トラフ角等を検証し、その結果をベルト速度、モータパワー等の算出に役立て、詳細設計を行った。

図2：ループBC挟み込みテスト機

▶3.2　ブームコンベヤ（地上設備との取合BC）の着床荷役（SULとの取り合い）

(1) 問題点

地上設備と取り合うブームコンベヤは君津港では東京湾の波浪影響は少ないため吊り荷役（吊りっぱなしで取り合い地上側シュートとはスキマを確保）で揚げ荷役を行う。一方鹿島港では太平洋（外洋）からの波浪影響を受けやすく、吊り荷役では船の揺動により荷の落ち位置が一定せず、荷こぼれが発生し操業にならないため、ブームコンベヤの先端を地上側のSULへ預ける着床揚げ荷役が要求された。着床させる事によりブームコンベヤ俯仰用吊りワイヤの弛み・張り調整や波浪によるコンベヤの挙動吸収等が必要となる。また潮位の干満差や荷揚げ中の船体バラスト調整

による喫水の変化もブームコンベヤの俯仰角が変化するため、合わせて俯仰吊りワイヤの自動弛み・張り調整機構が必要であった。

(2) 解決策 (図3：参照)

船首船尾方向の揺動 (トリム角) はSULと取り合っている2輪フリー車輪の車輪受け部に多段の皿バネによるバッファ (ショックアブソーバー) を取付け、トリム角の変化をブームコンベヤ側で逃げる構造とした。

船の左右舷方向の揺動 (ヒール角) に関しては、ブームコンベヤ吊り点保持部のワイヤシーブを移動台車式とし、随時自由に位置移動可能で、カウンタウエイトでカテナリ張力分移動台車を引っ張る方式とした。波浪により揺動が激しく移動台車のストローク量が大きい場合は自動でワイヤの巻き取り、巻き出しの電気制御も実行するシステム・機構も付与した。

また波浪影響により、ヒール角が大きくなってブームコンベヤがSULから浮き上がった場合には、それを自動で検出して、旋回強制保持と緊急俯仰巻き上げを行うことで、安全確保の対策を行った。

▶3.3　揚げ地別、搬送能力の差異

(1) 問題点

揚地別で搬送能力に数倍の差が有り、搬送能力に幅を持たせる設計が必要であった。

(2) 解決策

設備仕様はmax3000t/hを荷揚げ出来る仕様とし、合わせて全コンベヤの駆動モータをインバータ制御の周波数変化で加減速させる。君津港ではベルト速度を約50%に低下させることにより消費電力を抑えて、船側発電機の消費燃料の低減でエコ化を図り、またコンベヤのプーリやローラの回転数を低下させることにより設備寿命の延長を図った。搬送量は切出振動フィーダ台数と振動数を制御することにより可変させ600～3000t/hの切出搬送を可能とした。電気制御は揚げ地別毎に選択・設定を可能にした。中央操作盤で選択した揚げ地能力での運転を可能とする制御とし、設定ミスの防止や操作者が使いやすいソフト・操作画面とした。

図4：着床荷役 (ブームBCと鹿島港SULとの取り合い)

図5：吊荷役 (君津港での揚げ荷役)

図6：中央操作盤

図7：操作画面

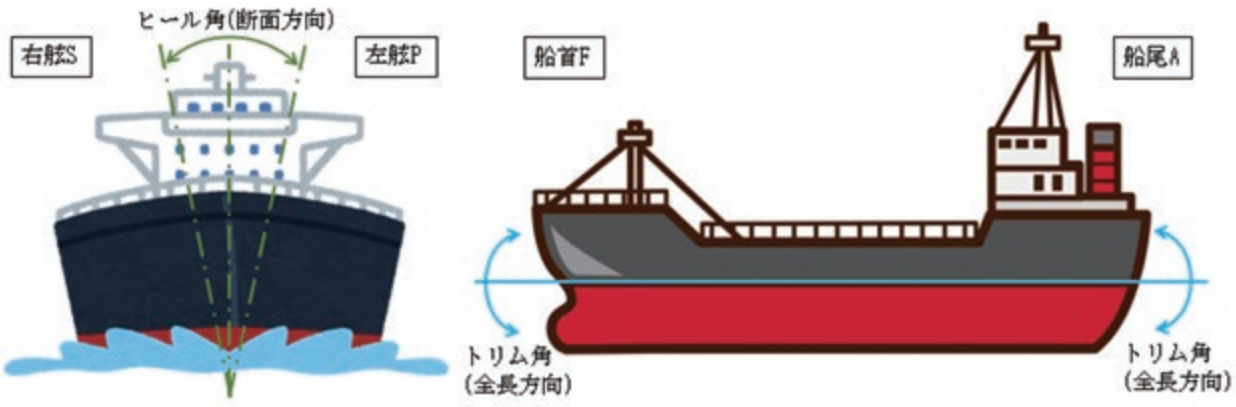


図3：船揺動の用語説明

4. 設備仕様と特徴

様々な問題をクリアーし、客先・造船所・当社鹿島支店と仕様・取り合い調整を幾度も実施し、本設備を取りまとめた。

以下に設備仕様と主な特徴を述べる。

▶4.1　船仕様と船内コンベヤ設備を合わせた全体特徴

(1) 船主仕様

①全長：163M

②載貨重量：21,000ton

(2) 主な設備特徴

①船倉は複数のホールドに分割され、数銘柄の同時輸送が可能。

②船側に揚げ荷役設備を搭載しているため、地上側に高コストなアンローダ等の揚げ荷役設備が不要。

③切出振動フィーダの可変速・切出台数制御により払出量を可変し、地上側の受取設備能力に合わせた小量（200ton/h）～大量（3000ton/h）運搬の全自動・連続・定量的な可変払出が可能。

④積み荷の全量排出が可能なので高効率な運搬が可能。

⑤高能率な切出・運搬コンベヤ設備で、右・左舷、船首・尾からの定量・均等切出しにより揚げ荷役時間の短縮が可能。

⑥陸上受け側設備へブームコンベヤ先端（着床車輪）を預け、波浪による揺動（ヒール角等）を自動的に吸収する装置・制御を完備した『着床荷役』と、ブームコンベヤ吊り状態で揚げ荷役を行う『吊り荷役』の両方式を装備。

⑦集塵設備により船内・船外の発塵を防止し良好な環境を維持し、各コンベヤ下に設置した落鉱回収フライトコンベヤにより効率的に落鉱を収集・運搬し、コンベヤ周りの清掃作業を大幅に低減。

⑧荷役装置の大半（ブームコンベヤ以外）は船内に配置されるため、屋外への発塵・飛散・落鉱を抑制。

⑨屋外配置のブームコンベヤはヘッド部伸縮シュート・シールベルト・ベルトカバー等により発塵を抑え、リターンベルト下にはステンレス鋼板製の落鉱防止板で海上への落鉱を防止し、耐塩塗装で塩害腐食・発錆も少なく、メンテナンスが容易。

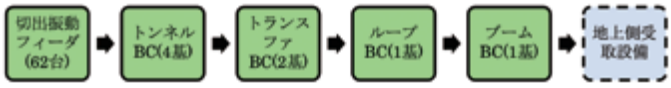
⑩ブームコンベヤへ俯仰角に自動追従するコンベヤスケールを搭載し、随時、搬送量の目安確認が可能。

⑪各種安全装置（引綱スイッチ、シュート詰り検知、ベルトスリップ検知、ベルト逆転防止等）も装備し、安全最優先な設備。

▶4.2　船内コンベヤ設備搬送フロー

船内コンベヤ設備における積み荷の搬送に関して以下のフロー図に示す。

(1) コンベヤ（BC）搬送（乗り継ぎ）フロー（基台数は1船分）



(2) 落鉱回収フライトコンベヤ（FC）搬送（乗り継ぎ）フロー（基台数は1船分）

5. 詳細製作設計

造船のブロック工法は我々が通常施工しているプラント設備や建築構造・据付の現場で物を組み立てて完成して行く工法とは全く異なり、船体ブロック毎に事前に据付・配管・配線を造船所内の工場で完了させ、その各船体ブロックを乾ドックへ運び吊り上げて溶接接続し船本体として組み上げていく工法である。当社コンベヤもブロック毎に先据え付けが必要で、コンベヤの分割位置は各ブロック分割位置に合わせる必要が有り、位置調整や接続方法に苦労した。

設計の強度解析は、FEM解析、3次元解析等を実施し、応力集中や複合応力の判断を数値化し、極力応力度の低い安全設計を行い、重量低減を図った。当初より造船所からは設備重量UPは厳禁で船体強度、喫水、積載量（総ton数）等に影響されるため重量低減には大変役立った手段であった。

また、ループコンベヤはベルト幅2400mmと大型で、ベルトメーカにも実績も無く、当社では前項の通りテスト機で検証し

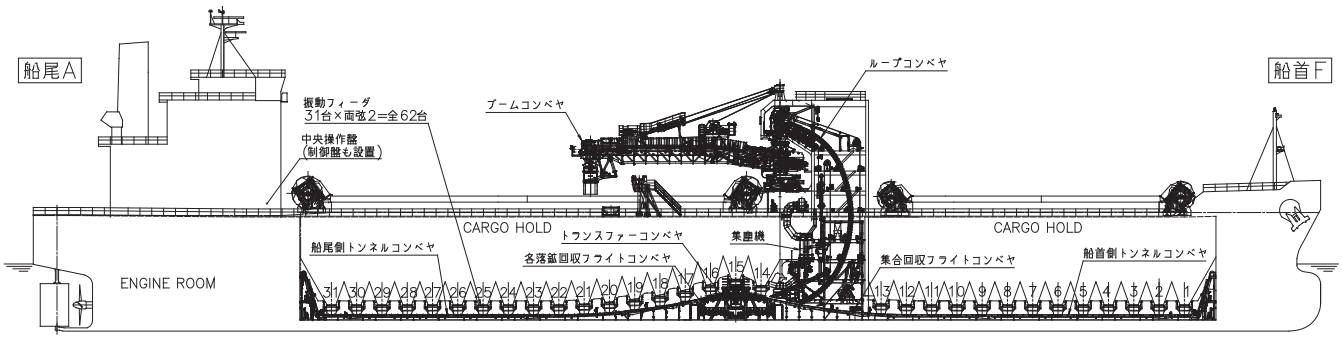


図8：船舶用セルフアンローダー設備全体図

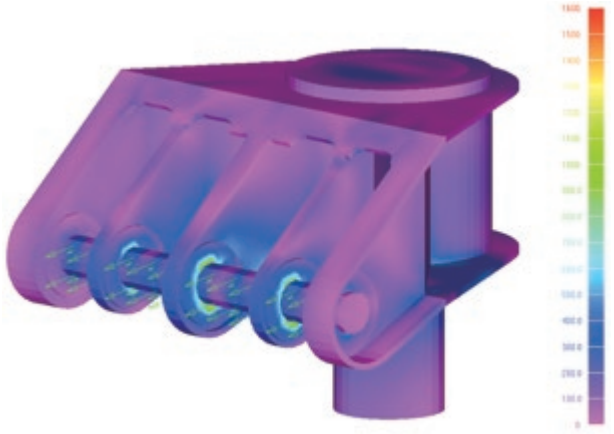


図9：ブームBC俯仰用キングピン（船体頂部）FEM解析応力度

ながら、ベルトメーカと協力して設計進行した。事前テストには段取りに手間やコストが発生するが、実機製作・据付・試運転後の改善・改造ではそれ以上に手間やコストは発生するため、事前テスト段階での実証確認は重要で有り確証を得るために

表1：設備概略重量（単位：ton）

製作品	中国製作	410／1船
	国内製作	10／1船
購入品		280／1船
合計		700／1船
総合計		2,100／3船

も必要である。

6. 製作・工場組立・工場無負荷試運転・運搬

1船当たりの設備重量は下表の通りで、膨大な製作・組立・運搬となり、当部署でも最大級の物量となった。

国内製作は、各ホールドとの取り合いが厳しく製作数量の多い切出振動フィーダのトラフスカートを阿賀工場メインで製作・納品し、寸法や形状を確保し品質向上を行った。

コンベヤのほとんどは中国大連の製作工場で製作・組立・試運転・分解・船舶輸送・納品し、機械・検査メンバーが製作・組立・試運転指導をポイントで欠かさず実施することにより3船ともミス無く仕上がった。造船所からは極力一体組立品での納品を望まれるが、ブロック位置で正しく分割することが必要なため、納品組立範囲の徹底も必要であった。

また特に中国との調整で難題であったのが、中国でのベルト加硫、無負荷試運転（電源差や工場電源容量等）、購入品を日本から中国への輸出、組立後の日本への逆輸入であったが、問題をすべてクリアーさせ中国での製作・組立・試運転を完了させた。

7. 造船所内据付工事SV派遣

造船所にブロック工程と組立範囲を確認し、当社製品をタイムリーに中国から船舶輸入させ、造船所内の隣接岸壁で受け取りを行い、通関も水切り前に効率良く実施させて頂いた。船舶輸送して来た大量の製品は仮置き場のスペースを乾ドック横へ確保して頂き、品分け、据付工事段取り等を当社SVが指示し、効率良く大量輸送・納品を実施し、据付工事を段取り良く進行させた。

また造船所でのクレーン吊り重量（組立範囲の確認）や、ベルト取り込み方法、ベルト加硫機の設置場所等、造船所と当社で都度調整・協議し、両社で協力し合いながら進行した。

造船所へは約1.5年間、max5名据付SVを派遣、試運転時にはmax12名派遣し、その間、造船所の監督室を客先より拝借し、随時現場へ出向き細かな点まで据付手順、芯出方法・許

図10：造船所ブロック組立状況

容、作業指示を実施した。造船所の協力無しでは成り得なかった案件であった。

以上により設備ポイントがしっかりと押さえられ、現地にて垂直立上につながった。造船所とも良好な関係を保ち、次船への道を築いた。

8. 電気設備

船内の配線材料・配線据付工事は造船所範囲だが、その他の電気設備（電源盤、制御盤、中央操作盤、機側操作盤、制御ソフト、工事SV）は当社範囲であった。仕様調整は関係部署と密に行い、客先との打ち合わせは提案型当社主体で行うことにより、客先に満足・納得して頂ける電気設備を納入することが出来た。特に、コンベヤの変速制御では、インバータで速度可変制御を行ったが、通常汎用インバータでは回生電力を放熱抵抗器にて消費させているところ、今回は大型のマトリックスコンバータ（回生電力を元電源側へ返す）を採用し、盤の小型化（船内電気室省スペース）、原価低減、電力消費削減等を達成した。

また、荷役制御室内の中央操作盤のみで全自動荷役制御を確立し、ITV設備（造船所範囲）の適切な配置の指示を行った。更に荷役切り出し最後のホールド内全量払い出しの自動さらい運転を構築し、操作者から大変高い評価を受けた。

9. 負荷試運転

▶9.1　造船所での負荷試運転（1船目のみ）

初船の海上公試が終了し、コンベヤ設備の無負荷試運転も完了した後で、造船所に石灰石原料をガット船で輸送して岸壁でバケットクレーンにて本船へ移し替え、その場で船内コンベヤ循環での負荷試運転を実施した。3000t/hの初実証や可能な範囲でベルト蛇行調整等を造船所内に有る段階で確認出来た。実荷を流す事により予期せぬ荷の動きの確認が出来たし、造船所内で出航前に改善が完了したので、後々有効な試運転となった。

図11：造船所での負荷試運転材料の積み込み

▶9.2　積み地での負荷試運転

3船とも出航後の初積み地で石灰石を積みながら船内コンベヤ循環で負荷試運転を実施し、揚げ地での現地運転を1発で問題なく立上げるため、この試運転で調整事項や改善点を完了させ、現地でトラブルが起き無い様に事前に試運転調整した。また客先立ち合いの上、設備仕様が満足している事を確認して頂いた。

図12：初積み地で積み荷役中での負荷試運転

▶9.3　揚げ地での垂直操業立上げ

以上の試運転を行った結果、3船とも揚げ地では一発垂直立上となり、NSユナイテッド内航海運株式会社殿、日鉄物流株式会社殿および日本製鉄株式会社殿から大きな信頼を得ることとなった。

念には念を入れ、事前に打てる手はすべて打つ事がいかに重要かを再認識させられた。

10. おわりに

初船が出航し約3年が経過するが、大きなトラブルもなく、順調に航海・荷役を継続中である。

次の新造船や大型案件へ向けて大きな成果、自信となった案件であった。

当案件同様に、常に技術・能力をレベルアップさせ、お客様から信頼される様に努め、社会の発展に貢献出来るよう努力してゆく所存です。

お問い合わせ先

機械事業本部
エンジニアリング事業部機械エンジ1部
TEL 0823-24-7143
営業部プラント営業2グループ
TEL 03-3552-8170