

センシングの助けで壁際を攻める

安全性と効率を高める連続アンローダの自動化技術

連続アンローダは、巨大な機械にもかかわらず監視や指示は人手に頼っている。

IHI 運搬機械株式会社では最新のセンシング技術を土台に自動化技術を開発し、安全性、作業効率、荷役効率をアップさせて時代の要請に応える。

IHI 運搬機械株式会社
運搬システム事業部 生産統括部
デジタルソリューション部

水崎 紀彦



連続アンローダ

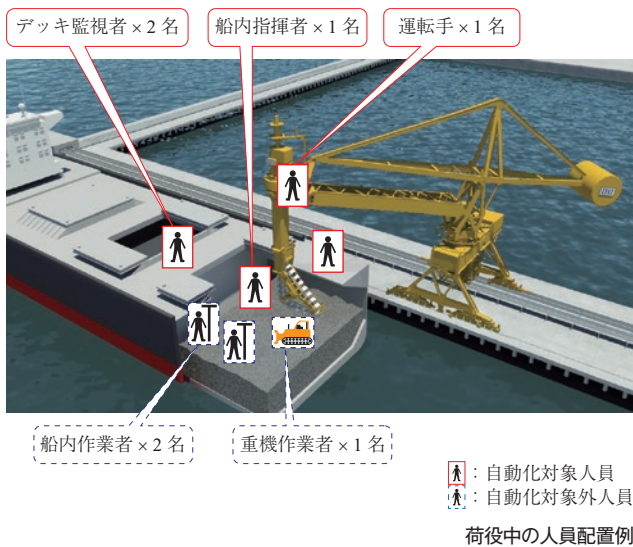
連続アンローダとは

連続アンローダ (Continuous Ship Unloader : CUL) は IHI 運搬機械株式会社 (IUK) の主要な製品で、発電所、製鉄所などにおいて、ばら積み船で運ばれてきた石炭や鉄鉱石などのばら物を大容量かつ効率的に荷揚げするための港湾荷役機械である。全長約 70 m、全高約 40 m の巨大な機械であり、最大 1 時間当たり石炭 2 700 t、鉄鉱石 4 000 t の荷揚げ能力をもつ。従来の大型の開閉式バケットで荷役する橋型アンローダのバッチ運転とは異なり、多数のバケットで連続的に

荷役を行うため高効率で安定した荷役を実現する。また、荷役物を搬送するラインは密閉構造にできるため、粉じん飛散を防止できる利点がある。IUK は世界トップシェアの納入実績を誇っている。

連続アンローダの運用と課題

典型的な CUL を用いた荷役は、全長 250 m、全幅 40 m、積載量 8 万 t のばら積み船から 2 台の CUL を使用しても 3 日間を要する、それだけ大規模で、かつ長時間の作業である。



CUL は、バケットエレベーター部（BE 部、バケットが等ピッチに配された環状チェーンを内蔵した垂直部分）とかき取り部（バケットが荷をかくために露出した部分）を丸ごと船倉に差し込み、船倉内を周回しながら石炭をかき取って荷役する。このため、監視カメラも設置されているが、CUL 自身の形状が複雑なことから相まって、船と CUL の間で衝突する恐れがある部位が多数あり、衝突箇所のすべてはカバーできない。

このため、CUL 運用の際には、運転手操作は船内指揮者からの無線指示で行われる場合が多く、運転手・



指揮者に加えて、監視要員が必要になる。また、船倉壁際やコーナー部にはかき取り残しが発生するため、これらを船内で人手や重機でかき寄せる作業員も必要になる。このように、これらの作業に多数の人員が必要で、作業環境は過酷である。CUL を複数台所有するお客さまが多く、夜間作業をしているところもあり、それぞれに多数の要員を確保する必要がある。また、効率的な荷役は、この船内指揮者の熟練度によって大きく左右されるが、高齢化により熟練指揮者の不足が問題となり始めている。

お客さまの期待

本技術の開発に当たって、国内外の主要なお客さまに CUL の自動化についてヒアリングを行った。

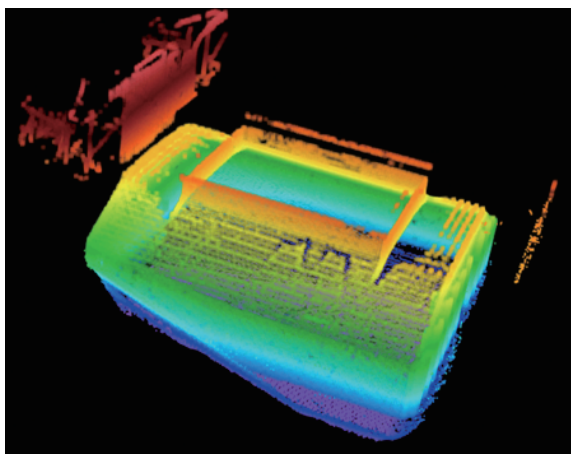
- ① 電力会社：電力の安定供給を最重視するため、CUL にも安定操業を求める声が多い。船との接触などの事故や、荷役流量の不安定による下流の地上コンベヤ設備への悪影響を防ぎたいなどの要望がある。
- ② 製鉄業界：よりコストにシビアであり、船会社との間で時間単位の用船契約を結んでいるため、荷役効率向上による滞船料・用船料の削減に関心が高い。
- ③ 海外：全般的に熟練運転手・指揮者が少なく、低い荷役効率となっていることが多い。このため一部のお客さまからは一足飛びに完全自動化を求められている。

これらの期待に応じて開発してきた CUL の自動化技術を、全体を支える 3D 計測技術と、それを土台にした三つの技術に分けて紹介する。

自動化のための計測

CUL を自動化するための基礎となるのが、CUL と船体・船倉・石炭の位置関係を自動、高精度かつリアルタイムに取得する計測技術である。

IUK では従来、「ティーチングプレイバック式半自動運転機能」を CUL のオプションとして提供している。これは事前の船倉内での運転を覚えさせておき、その動きをなぞるように運転させる機能である。しかし、潮汐や積み荷の減少などで船の位置が変化するため、船倉の壁際までの効率的な荷役ができず、運用側の要求に十分に答えることができていなかったが、近



船倉形状の 3D 計測事例

年のセンシング技術の進歩とコストダウンにより、より高度な機能を付加することが可能になった。今回の自動化に関しては、リアルタイムなセンシング技術の活用から検討を始めた。

IUK は以下のような対象をセンシングで認識するようにした。

- ① CUL から見た船の相対位置
- ② 船倉・ハッチ形状、船倉内部の壁、階段、配管などの形状
- ③ 船倉内の石炭などの高さマップ

センシング技術として 3D-LiDAR (Light Detection and Ranging, ライダー) を採用した。LiDAR は対象物の形状と距離を一度に計測できる一方、対象物が何であるかを識別するのは難しく、視野も限られている。このため、LiDAR の計測結果をそのまま制御に使用するのではなく、複数の LiDAR の計測結果を統合 → 識別 → 船倉 3D モデル化してから利用する手法を開発した。また、船倉内は粉じんの飛散・付着や湯気など、光学センサにとって悪環境であるが、このような環境でも安定して計測する手法を開発した。

実際の運用においては、CUL を稼働させつつ LiDAR 計測で周囲との位置関係・距離を把握し、リアルタイムな表示や制御に用いる。同時にこれらの結果から刻々と船倉 3D モデルを構築していく。船倉が空になるまでの計測が終われば、船倉内の階段など構造物の詳細までモデル化でき、次回に同じ船が入ってきたときには、これらの障害物が石炭に隠れていても把握して運転することが可能となる。

運転支援機能

自動化技術の一つ目の柱は運転支援機能である。発電所などの安定操業のため、また、事故対応に伴う滞船時間超過の抑制のためにも船と CUL との接触事故は避けなければならない。特に船倉には法規上必ず階段部を設ける必要があり、これが突起となって CUL と接触することが多い。また、石炭表面下に埋もれている状態は熟練指揮者でも怖いという。しかし、事故回避のために船倉壁から安全距離を大きく取ってかき取り作業をすれば、かき取り残しが生じ、人手や重機での作業量が増え荷役効率の低下を招く。従来の CUL では一部のみ接触を感知するスイッチが設けられていたが、多くの部位では人に頼った衝突監視を行っていた。

そこで今回、船倉 3D モデルと CUL の位置関係をリアルタイムで把握する自己 3D モデルを統合して、衝突防止を中心とした運転支援機能を開発した。その結果、運用において下記のメリットが実現した。

- ① 衝突の恐れのあるすべての箇所が自動監視できるため、監視者が不要になる
- ② 接近を感知して停止させる安全確保だけでなく、運転室の運転支援モニター上に俯瞰的に姿勢図示、距離表示、警報発報などを行い、運転手自身が状況を瞬時・直観的に把握し、壁際の荷役動作を支援できる
- ③ 3D モデル化済みの船であれば石炭面より下にある障害物でも表示、警報発報、衝突防止ができる
本機能は単独で手動運転のために使うこともでき、



船倉内の障害物の例(階段部)

また、次の自動運転機能の基礎技術として安全を担保する役割も果たす。さらに、運転支援モニターさえあれば運転場所を選ばなくなるため、構内事務所や遠隔地からの遠隔運転も可能となり、地震・津波対策としても期待できる。

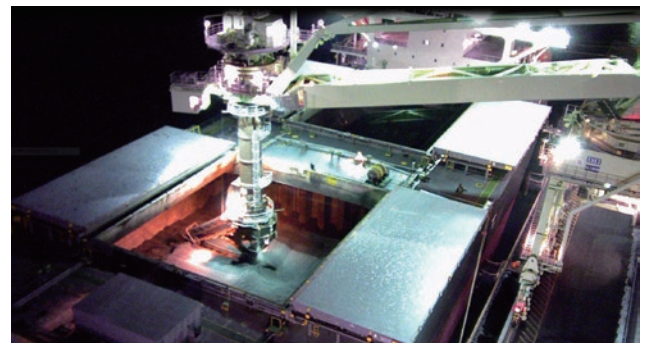
半自動運転

二つ目の柱は自動運転である。前節の運転支援機能で「ぶつからない」ことを担保したうえで、船倉内を効率良くかき取りできる経路を自動設定し、その経路に追従して自動運転を行う。経路設定の機能は、計測によって自動生成される船倉 3D モデルに基づいて、CUL の BE 部先端を船倉壁に沿って 1 周させる経路を自動的に生成する。また、外周かき取りを繰り返すうちに中央部にたまるかき取り残しや、船倉のコーナー部に発生するかき取り残しを低減する機能も備えている。CUL を設定した経路に追従させる際、CUL の運転に必要な三つの動き（海陸方向の横行、船長手方向の走行、BE 旋回）を、従来の手動運転では難しい滑らかで柔軟な動きで制御し、さらにかき取り残しの削減に貢献している。

これらの機能によって、従来では熟練の船内指揮者と運転手の組み合わせで初めて成立していた船倉壁際のかき取り残しを最小限にする効率的な運転を、熟練者不要で実現できるようになる。なお本機能は人手を介さず動作するが、十分な実績と信頼性を確保できるまでは半自動扱いとし、運転手の確認のもとで動作することとしている。

能力（流量）制御

三つ目の柱は、能力（流量）制御である。CUL の定格能力は、例えば 1 800 t/h、つまり毎秒 0.5 t であるが、瞬間能力は一定ではなく大きく変動していることが多い。これは、船倉コーナー部のかき取りが難しいことや、崩れによって凹凸ができること、また作業者の熟練度などによる。変動によって能力が定格を大きく超えてしまうと、CUL 自身や下流にあるコンベヤなどの地上設備（これらも 1 800 t/h で設計されている）が負荷オーバーとなって悪影響を与える恐れがある。このため、あらかじめ変動幅を見越して定格よ



半自動試験風景（半自動運転・船倉内周回運転中）

り低めの目標値で荷役することが多く、荷役効率の低下につながっていた。

従来の CUL の流量計は機内の下流部分に設置されており、その指示値にはバケット位置でのかき取り量から数十秒の遅れがある。このため運転手が能力表示を見ながら手動で速度調整を行う方法では、能力の変動幅が大きいという問題があった。

今回、リアルタイムに精度良く瞬間能力を推定する機能を開発した。これをもとに CUL の各モーションの速度を自動調整することで、能力制御の精度向上、つまり能力の変動幅が小さく常時定格に近い運転を実現した。

現状とこれから

IUK が開発した自動化技術は、お客さまのご協力のもとで実機実証試験中である。さらに複数の採用も決まっており、実機への搭載工事を実施している。今後は、より厳しい状況でも自動運転を継続できるように信頼性を向上させることと、荷役の性能を向上させることに努め、さらに海外への展開を進めていく。

問い合わせ先

IHI 運搬機械株式会社
運搬システム事業部 生産統括部
デジタルソリューション部
電話（03）5550-5787
<http://www.iuk.co.jp/crane/>