

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW



# 住友重機械技報

No.182

Aug.2013

ISSN 0387-1304

搬送物流設備特集

Special Issue for Material Handling Equipment & Systems

# 住友重機械技報 No. 182 2013

## 巻頭言

搬送物流分野でのお客様の価値創造のパートナーとして

横田克英

## 搬送物流設備特集

論文・報告	クレーンの震災復旧	中川 猛, 大塚冬来	1
	大型クレーンのハンドリング技術	高橋清文	5
	連続式揚炭機のBE部分更新および電動駆動化	山中正夫	9
	物流・駐車場設備のリモートメンテナンス	小島宏志, 中藤雄策, 岡 伸一	13
技術解説	ハイブリッド・自動運転機能付き浚渫機への改造	高橋清文	17
	銅電解用天井クレーン	元田貴之	19
	製鉄所向け自動倉庫システム	長部洋介	21
	高速入替え対面ピッキング自動倉庫の開発	大柴 茂, 河野龍太	23
新製品紹介	新型バッテリー式フォークリフト FB0.9t-3.0t		27
	通販向け小物仕分け装置		28

## 論文・報告

	小規模下水処理向け縦軸型曝気攪拌装置 スミレーターII	鈴木 茂	29
	くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション 第2報 発熱・伝熱を考慮した温間加工解析への適用	大西良孝, 檜垣孝二, 市嶋大路, 広瀬良太	33

As a Value-creating Partner for Customers in Material Handling Business.

Katsuhide YOKOTA

## Special Issue for Material Handling Equipment & Systems

T/PAPERS	Earthquake Disaster Restoration of Material Handling Machines Takeshi NAKAGAWA, Fuyuki OOTSUKA	1
	Design Specifications of Large Crane Designed from the Viewpoint of On-site Assembly Kiyofumi TAKAHASHI	5
	Renewal of Continuous Coal Unloader's Bucket Elevator Part, and Introduction of Electric Motor Drive Masao YAMANAKA	9
	Remote Observation of Logistics & Parking Systems Hiroshi KOJIMA, Yusaku NAKATOH, Shinichi OKA	13
T/INVITATIONS	Automated Grab Dredger with Hybrid Power System Kiyofumi TAKAHASHI	17
	Overhead Crane for Copper Electrolysis Facility Takayuki MOTODA	19
	Automated Storage and Retrieval System (ASRS) for Iron Works Yousuke OSABE	21
	Development of a High-speed Exchange Picking ASRS Shigeru OSHIBA, Ryuta KOHNO	23
NEW PRODUCTS	New Battery Forklift FB0.9t-3.0t	27
	Assorting Equipment for Mail-order Small-size Wares	28
<b>T / PAPERS</b>		
	Vertical Type Aerators "SUMIRATOR II" for Small-scale Sewage Treatment Plant Shigeru SUZUKI	29
	Rotating Plastic Forming Simulation Using Renormalization Molecular Dynamics Part2 Considering generation of heat and heat conduction for warm forming Yoshitaka OHNISHI, Koji HIGAKI, Daiji ICHISHIMA, Ryota HIROSE	33

搬送物流設備特集の発行に当たって

## 搬送物流分野でのお客様の 価値創造のパートナーとして



専務執行役員 **横 田 克 英**

当社における搬送物流システム事業は、1912年に天井クレーンの1号機を設計・製作・納入して以来100年を超えて、ジブクレーン、ゴライアスクレーンなどの各種クレーンやアンローダなどの運搬荷役機械やFA物流設備、商品配送センター向けの物流システム、都心の地下に展開する機械式駐車場など、お客様のご要望に応え、かつ広く社会に貢献できる数多くの製品とサービスを提供してまいりました。これもひとえに皆様のご支援とご協力に支えられた結果であり、厚く御礼申し上げます。

搬送物流分野においては、設備機器の効率化などへのご要望を受けて大型化・高速化・自動化・省力化を図り、近年飛躍的に向上してきたIT技術を利用した設備診断技術や、システム制御技術を組み込んだ製品・サービスを実現し提供してまいりました。

一方、ここ数年では地球温暖化の進行やタイの洪水、東日本大震災と原発事故など生活基盤を揺るがし産業構造そのものを変えてしまうような大きな出来事が発生しました。これらは国内外の経済に大きな影響を及ぼしましたが、その間もお客様の事業活動領域はグローバルにさらに拡がりを見せ、その事業活動に対応した搬送物流設備の重要性、地球環境への配慮・災害時の安全対応・省エネルギー・効率化・省メンテナンスへの社会的な要求はますます高まっております。

本特集号では、運搬荷役機械では東日本大震災時のクレーン早期復旧に向けた活動、造船所向け大型ゴライアスクレーン据付け工事時におけるお客様の工場操業ダウンタイムのミニマム化に向けた組立て技術の確立、原材料荷役作業の環境・省エネルギー・省メンテナンスに対応した連続アンローダのバケットエレベータ部分の電動化更新技術、浚渫作業の自動化・省エネルギーに対応した浚渫船の自動運転・ハイブリッド適応技術、銅精錬の自動化に対応した銅電解クレーンの自動運転技術などのさまざまなご要望に対する技術の一例を紹介いたします。また物流システムでは、省人化・省スペース化ニーズに加え、重作業の負荷軽減や作業者の安全確保などの課題解決が求められており、これに応える製品を開発し提供しており、機械式駐車場では当社のパズル式の持つ高収納効率と円滑性が評価され、バリアフリー対応や電気自動車への自動充電機能対応など社会の要請に応える製品を進化させてまいりましたのでその一例を紹介いたします。今後とも人との共存、調和、オペレータをアシストする機能などお客様の価値創造のパートナーとして、社会に貢献できる製品・サービスの提供・技術開発に向け、たゆまぬ努力を続けてまいり所存です。皆様よりの一層のご指導・ご鞭撻を賜りますようよろしくお願い申し上げます。

# クレーンの震災復旧

## Earthquake Disaster Restoration of Material Handling Machines

●中川 猛\* 大塚 冬来\*  
Takeshi NAKAGAWA Fuyuki OOTSUKA



図1 クレーンの震災被害  
Crane damage by earthquake disaster

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、観測史上最大のM9.0の巨大地震となった。該当地区で稼働していた荷役機械は地震と津波により多種多様な被害を受けた。住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械エンジニアリングサービス株式会社)が製作した荷役機械では岸壁損傷、船舶との衝突、浸水および浮遊物衝突による損傷被害が多かった。

復旧作業に当たってはライフラインの確保、余震による作業中断および避難など多くの困難があった。また岸壁設備などの荷役機械以外の復旧作業が同時期に実施され、その都度工程調整を実施した。

震災から2年半が経過し、多くの住友重機械搬送システム製の荷役機械が復旧し稼働している。荷役機械の震災復旧を行ったことは貴重な経験となり、今後は地震対策の検討が必要であると認識した。

The Great East Japan Earthquake measuring magnitude 9.0, which is the strongest earthquake ever recorded in Japan, occurred on March 11, 2011. Many material handling machines that were operating in the stricken areas were variously damaged by the earthquake and tsunami. As far as those machines made by Sumitomo Heavy Industries Material Handling Systems Co., Ltd. (the former Sumitomo Heavy Industries Engineering Service Co., Ltd.) are concerned, damages were caused by broken quays, collisions to vessels, flooding, or collisions to wreckages. We had to face up with many obstacles such as difficulties with securing lifeline, interruptions and evacuations due to the aftershocks. The quays were to be rebuilt at the same time. Therefore, we repeatedly reviewed and readjusted process of repairing damages of the machines. After two and half years have passed, many of the material handling machines made by SHI have been rebuilt and are working properly. It was valuable experience for us to have repaired the earthquake-related damages of the material handling machines, because it helped us to appreciate the needs to discuss how to take countermeasures to protect the machines from earthquake.

### 1 まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、観測史上最大のM9.0の巨大地震となった。地震とそれによって引き起こされた津波は、東北地方から北関東までの広範囲にわたり、甚大な被害を及ぼした。該当地区で稼働していた荷役機械は、地震と津波により多種多様な被害を受けた。

住友重機械搬送システムが製作した荷役機械の被害は、地

震の揺れによるというより岸壁損傷や津波による船舶との衝突、浸水および浮遊物衝突による損傷被害が多かった。一部の荷役機械には、揺れにより脚部が浮き上がり、抜けた固定装置が再度着地したときに地上金物と干渉し変形したものが見られた。

復旧作業に当たっては、ライフライン、交通手段および宿泊施設の確保がむずかしいうえ、余震による作業中断や避難もあり、当初は多くの困難があった。

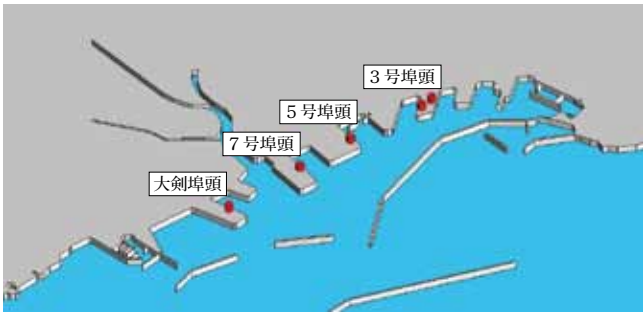


図2 小名浜港  
Port of Onahama

表1 荷役機械  
Material handling machines

埠頭名	設備名	荷役機械名称	現状
3号埠頭	3-1号機	315t/h 橋型水平引込み式アンローダ	解体撤去
	3-2号機	315t/h 橋型水平引込み式アンローダ	解体撤去
	3-3号機	315t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
	3-4号機	315t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
5号埠頭	5-1号機	800t/h ツインベルト式アンローダ	代替機新設
	7-1号機	800t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
7号埠頭	7-2号機	800t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
	7-3号機	800t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
	7-3号機	800t/h 橋型水平引込み式アンローダ	復旧稼働中
大剣埠頭	多目的	36t タイヤマウント式水平引込みクレーン	復旧稼働中

また、岸壁、ランウェイおよび電気設備など荷役機械以外の復旧作業も同時に実施されることから、それぞれの関係者と協議を行い、各作業工程の調整を行った。

震災から2年半が経過し、住友重機械搬送システム製の荷役機械の多くは復旧し稼働している。しかし、今もなお荷役機械以外の恒久的復旧に向けて各種工事が継続されている。

本報では、住友重機械搬送システムがかかわった復旧作業のうち、複数の形式の荷役機械が設置されている福島県小名浜港における被害と復旧状況について報告する(図1)。

## 2 小名浜港荷役機械概要と現状

住友重機械搬送システム製の荷役機械は、小名浜港東から西に向かって順に、3号埠頭、5号埠頭、7号埠頭および大剣埠頭に設置されている(図2, 表1)。

現在は、3-1号機と3-2号機の解体撤去、5-1号機の解体撤去および代替機新設、その他の修理復旧いずれも完了している。

## 3 荷役機械被害状況

3-1号機、5-1号機、7-2号機および7-3号機は荷役中に被災した。

### 3.1 3号埠頭

3-1号機および3-2号機は、岸壁中央部陥没と海側レール基礎沈下により本体部が海側に傾斜した。海側自由脚は限界範囲まで倒れかかった状態であり、脱輪も発生していた。レールは湾曲してスパンおよび高低差の異常が発生し、給電ケーブルラックは倒れ傾いていた(図3)。

本機を含む当該岸壁は余震による2次災害を防ぐべく立入禁止区域となった。

3-3号機および3-4号機は、岸壁に同様の損傷はあるもののほぼ水平に立っていた。本体には津波による浸水およ



図3 脱輪, 傾斜, レール湾曲  
Derailment, inclination bending of a rail



図4 減速機破損  
Broken reducer gear system



図5 ブレーキ破損  
Broken brake

び流されてきた浮遊物との衝突による破損があった。被害範囲は脚部電気品、レールクランプおよび駆動部を含む走行装置であった(図4, 図5)。

3号埠頭受変電設備は、キュービクルの高さの半分まで浸水し、海水を含んだ砂塵で機器が覆われ復旧困難な状況にあった。なお、埋設ケーブルの状況は不明であった(図6)。

### 3.2 5号埠頭

5-1号機は、先端部を船倉に挿入した状態で被災しており、津波を受けた船舶と衝突したことによる損傷が甚大であった。主な被害は、垂直フレーム部の変形、油圧シリンダの油漏れ、さらに先端掘削部、旋回駆動減速機、旋回ベアリングオープンギヤ、走行減速機の破損および走行車輪の脱輪で



図6 受変電設備浸水  
Flooded electric incoming and substation facilities



図7 先端掘削部破損  
Broken excavator



図8 タイヤの接地  
Grounding of a tire



図9 吊りピース取付け、海上クレーンによる移設  
Welded hanger, removed by a floating crane

あった(図7)。

また、岸壁中央部陥没、陸側レール基礎傾斜におけるスパン異常、さらに給電用ケーブルラックの倒れが発生していた。

### 3.3 7号埠頭

7-1～7-3号機は、3号埠頭と同様に岸壁の損傷はあるもののほぼ水平に立っていた。本体には津波による浸水および流されてきた浮遊物との衝突による破損があった。被害範囲は脚部電気品、レールクランプ、駆動部を含む走行装置および岸壁上に設置されていた地上接続箱であった。また、給電ケーブルラックは倒れ傾いていた。

受変電設備の水没はなかったが、屋外動力変圧器の基礎が陥没し傾斜していた。さらに同配線ピットが割れ、ケーブルに圧力が加わるなどの被害が発生していた。

### 3.4 大剣埠頭

多目的クレーンは、津波による浸水はなかったものの、陸側アウトリガー部の岸壁陥没により陸側へ傾斜し、海側アウトリガーとの間にあるタイヤは半分が接地した状態であった。アウトリガーを収納するとクレーンが転倒することから自立走行が不可能な状態であった(図8)。

## 4 復旧概要

復旧の優先度や復旧方法は、国および県によって開催された小名浜港復興会議の方針にもとづいてその都度検討を行い、復旧作業が進められた。

### 4.1 大剣埠頭多目的クレーン

荷役機械において最初に復旧することとなったのは、大剣埠頭のタイヤマウント式水平引込み式クレーンである。本体

の損傷が見受けられないことと、タイヤマウント式であることから損傷を受けていない岸壁エリアに移設できれば荷役機械として最短で復旧可能であるということが理由である。

移設は、海上クレーンで本体を一体吊りにして実施した。この移設の際に一体で吊るのに必要な吊りピースを製作し、現地取付けを実施して、2011年6月に稼働開始した(図9)。

### 4.2 7号埠頭1～3号機

2番目に復旧することとなったのは、7号埠頭の水平引込み式アンローダである。7号埠頭は石炭および鉱原料を扱った物としており、火力発電所や地元企業への供給において重要な陸揚げの埠頭であり、荷主からも早期の復旧を望まれていた。

まずは荷役を再開することを目指して、7-1号機と7-3号機について浸水被害を受けていた走行部の復旧が進められ、2011年8月に稼働を開始した。

7-2号機においても、浸水被害を受けた走行部が2011年10月に復旧し、3基ともに荷役を再開することができた。

### 4.3 3号埠頭

3-1号機および3-2号機は、復旧工事が困難なことから解体撤去となり2012年3月に撤去を完了した。また、3-3号機および3-4号機は、浸水被害を受けている走行部の復旧を2012年8月に完了し、稼働を開始した。なお、受変電設備は2012年12月に新設備で稼働している。

### 4.4 5号埠頭

5-1号機は、被害が甚大であることから解体撤去となり、2012年12月に代替新設備が設置された。



図10 仮設レール  
Makeshift rail



図11 クレーン牽引  
Traction of crane

## 5 浸水による走行部復旧補修内容

3-3号機, 3-4号機および7-1~7-3号機における走行部分の浸水被害は, 各機多少の差はあったが基本的に次の修理を実施した。

### 5.1 走行電動機

塩分除去を含むオーバーホールを実施した。

### 5.2 走行減速機

浮遊物衝突により破損したケースは新作し, それ以外はオーバーホールを実施した。

### 5.3 走行ブレーキ

浮遊物衝突により変形したロッドは交換した。

### 5.4 レールクランプ

浮遊物により破損したケースの修理や, 浸水電気部品の交換を含めたオーバーホールを実施した。

### 5.5 走行車輪および駆動アイドラ軸受

海水および汚泥の浸入があり, 全数取外し清掃整備を実施した。

### 5.6 電気品類

浸水したと思われる電気品, リミットスイッチ, 分電盤および保安装置は交換した。

## 6 その他復旧内容

### 6.1 給電用ケーブルラック

支持ポールを基礎に再度アンカー打ちし, 走行レールに対し芯出しを実施した。地上接続箱を本ラック部に移設再設置した。

### 6.2 受変電設備屋外変圧器

沈下基礎に鉄筋コンクリート打ちを再度行い, 嵩上げて再設置した。ケーブルピットについても再施工を実施した。

### 6.3 岸壁修理レール補修の関連作業

岸壁修理やレール補修が行なわれなければ荷役は不可能であったことから, 岸壁修理工程に合わせ何度も仮設レールを敷き, 自走できない本体をローダでけん引して移動させることで岸壁修理やレール補修に協力した(図10, 図11)。

## 7 荷役機械により異なる被害と復旧

小名浜港には複数の型式の荷役機械が設置されており, その形式の違いが被害や復旧の内容に差をつけた。

### 7.1 タイヤマウント式水平引込みクレーン

地耐圧が確保される岸壁上であれば, 岸壁およびレール修理に関係なく移動することで早期に荷役再開が可能であった。

### 7.2 橋型水平引込み式アンローダ

地震発生時に素早く巻上げ・引込みを行い, バケツを取納したことから船舶との衝突が発生せず, 大きな被害を受けることがなかった。

### 7.3 ツインベルト式アンローダ

本機は, 船倉に本体の一部を挿入して荷役をするものであるが, 引抜き収納に一定時間を要することから船舶との衝突を回避できず, 被害が甚大となった。今後はこのような形式の荷役機械における緊急退避システムが必要であると考えられる。

### 7.4 その他

3号埠頭で発生した本体傾斜では, 脱輪と自由脚の傾きにより転倒の恐れが大きくなった。

一方, 7号埠頭の場合は岸壁工事において本体をけん引移動させなければならなかったが, 自由脚の機能により狂ったスパン上でも特に問題なく通過できたという利点もあった。

今後は自由脚の必要な機能と, 地震脱輪時の転倒防止の対策を同時機能として持たせる必要があると考える。

## 8 むすび

(1) 岸壁破壊や津波を伴う震災の場合, 荷役機械の被害は多種多様でその復旧方法も異なったものとなる。

- ・荷役機械の被害は, 津波による浸水および浮遊物との衝突による。
- ・船舶との衝突による被害は甚大である。
- ・岸壁損傷が発生すると脱輪, 本体傾斜および倒壊も引き起こされる。
- ・荷役機械の形式により被害に差が生じる。

(2) 復旧に際しては, 荷役機械単独ではなく関連施設と同期した工程で進まなければならない。

- ・電気品は基本的に交換を実施する。
- ・荷役機械は, 関連設備の復旧なくしては稼働できない。
- ・震災復旧関連の作業は, 密に工程調整されて進む必要がある。

今後, 可能な地震対策を検討し, 実施する必要がある。今回の経験は, 今後の地震対策や災害時の復旧計画立案に役立つものと考えられる。

最後に, 復旧活動における作業者の安全確保は平時と同等に大切であることを記す。



# 大型クレーンのハンドリング技術

## Design Specifications of Large Crane Designed from the Viewpoint of On-site Assembly

● 高橋 清文\*  
Kiyofumi TAKAHASHI

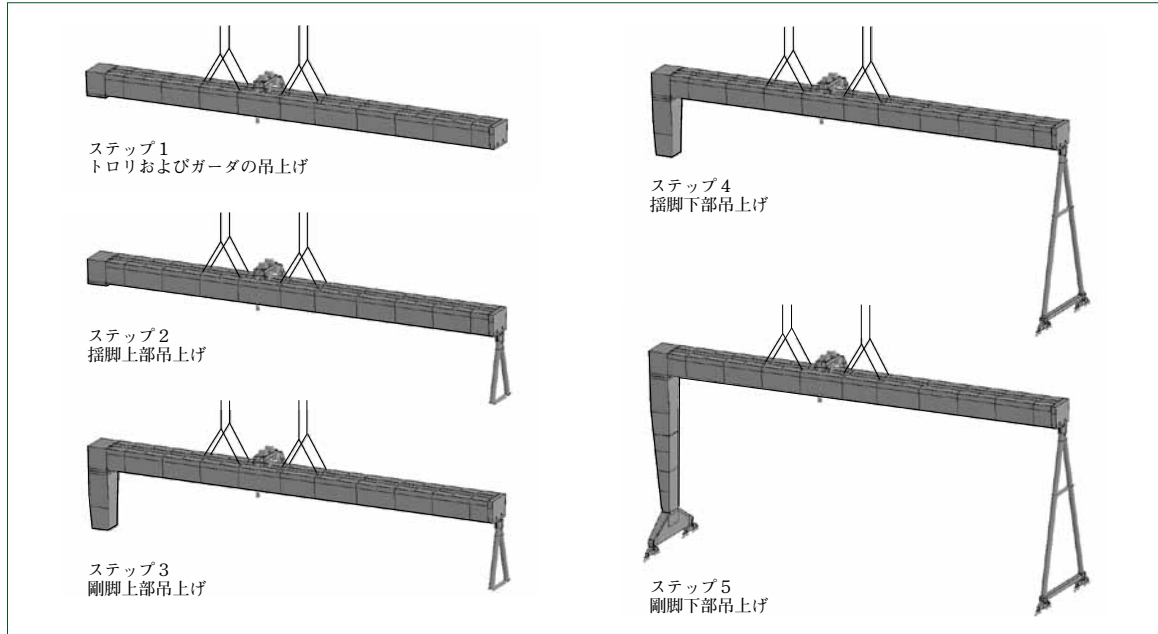


図1 組立手順  
Assembly procedure

住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械エンジニアリングサービス株式会社)では、1995年に初号機を市場投入以降、これまで国内に20余台の大容量ゴライアスクレーンを納入している。これは大容量ゴライアスクレーンの更新据付けに対する造船所の要望に対し、工事部門主導での大胆な海上組立て工法を提案し、その工法をクレーンの基本計画へ反映し、新機構・新構造のクレーンの開発を行った成果である。

本報では、「汎用材を使用しながら軽量小型高速大容量および低輪荷重で広い作業範囲を持ち、かつ小さなスペースで短期間に据付けられる」をコンセプトとして開発したゴライアスクレーンについて、現地での組立ての視点から工事の手順とその組立て方法を達成すべく採用した設計仕様などについて記述する。

また、他社製ではあるが類似の構造を持つゴライアスクレーンの解体工法についても紹介しながら、大型クレーンハンドリング技術について記述する。

Sumitomo Heavy Industries Material Handling systems Co., Ltd. (the former Sumitomo Heavy Industries Engineering & Services Co., Ltd.) put the first Goliath crane with large capacity on the market in 1995, and since then, SHI has built and delivered more than 20 of them. In response to shipyards' needs to replace existing Goliath cranes with the larger-capacity ones, SHI employed the construction-sector-led maritime assembly technique, and amended design planning of Goliath cranes accordingly. This has led to a development of the crane with new mechanism and structure. This paper describes the design specifications employed to realize the procedures and erection methodology from the viewpoint of on-site assembly of the Goliath that has been developed under the concept of "Using readily available equipment to erect a crane with light-weight, high-speed, high-capacity, low wheel-load and a wide working range, which can be done in limited space and within a short period of time". This paper also describes a technique of large-crane-handling, explaining the disassembly of other companies' Goliath cranes with the structures similar to the ones of SHI.

### 1 まえがき

1990年代の半ば、国内の各造船所は新造船の世界的な大量需要を予測し、その造船力強化の一環として生産性の向上に取り組んでいた。なかでも船の建造期間、とりわけドック内での製作期間の短縮が生産性向上の大きな要素としてクロウ

ズアップされていた。期間短縮には、船体モジュールの大型化が最も有効な方策として考えられ、船体モジュールを吊り上げるゴライアスクレーンの大型化が検討されていた。

しかしながら多くの造船所のクレーンの基礎耐力は比較的小容量の既設ゴライアスクレーンに対応した低輪荷重であり、その周辺スペースも狭小なものであった。



図2 海上組立て  
Lift of a work by floating crane

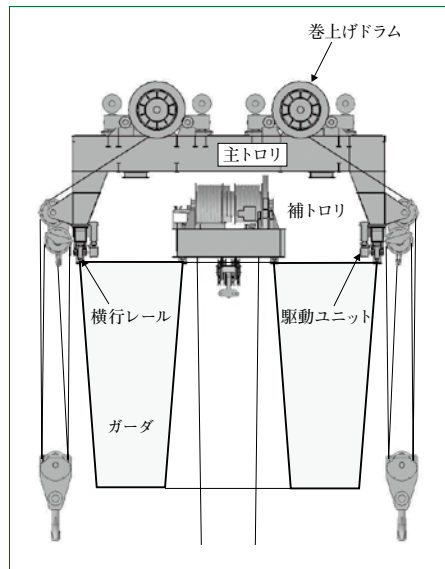


図3 クレーン断面  
Crane cross



図4 揺脚上部  
Upper part of hinged leg

また、すでに受注していた船舶の建造期間を確保する必要から、クレーン更新据付け時にドック内作業を長期間休止すること、クレーンを組み立てる十分なスペースを確保することは困難な状態にあった。

本報ではこのような状況を踏まえ、「汎用材を使用しながら軽量小型高速大容量および低輪荷重で広い作業範囲を持ち、かつ小さなスペースで短期間に据付けられる」をコンセプトとして開発したゴライアスクレーンについて、現地での組立ての視点から記述する。また、他社製ではあるが、類似の構造を持つゴライアスクレーンの解体工法も紹介しながら、住友重機械搬送システムの大型クレーンハンドリング技術について記述する。

## 2 ゴライアスクレーンの現地組立て

### 2.1 組立てにおける工事手順とその仕様

#### (1) 工事手順

ゴライアスクレーンの組立て手順は図1の通り、起重機船で吊り上げた状態で各モジュールを組み立てていく。

#### (2) 工事仕様

ドック内でのクレーン更新据付け工期の短縮と組立てスペースの最小化策として、1隻の起重機船と2隻のモジュール搬送用台船を、モジュールの仮置場かつ組立てヤードとして兼用する海上組立て工法を考案し、採用した(図2)。

本工法の実現には、次の項目が必須事項となった。

- ・クレーン総重量 3400t以下
- ・吊り荷重心の移動幅 起重機船の吊り点幅以下
- ・起重機船の片側ブームにかかる最大荷重 1700t
- ・現地組立てモジュール数 5個以下
- ・接合期間 1日/モジュール(日中作業のみにて完結)
- ・モジュール間の接合 ボルトによるフランジ接合
- ・接合仕様 全接合部を通して1種類

上記事項を満足させるべく、接合部における耐力を配慮し、作業時および休止時において圧縮応力が支配的部分になるよ

うにブロックの分割位置を定めた。

### 2.2 ステップ1 トロリおよびガーダの吊上げ

1隻の起重機船による組立てであることから、クレーン機体の軽量化は必須条件となる。特に移動荷重であるトロリの軽量化は最重要課題であり、次の(1)~(4)により機能を確保しながら機体の軽量化を実現した。

#### (1) シープの配置

主トロリに付くシープブロックを横行レール直上に配置した。ドラムへのロープ巻取りをトロリの左右に対称配置して、トロリフレームの負担を抑制し軽量化した(図3)。

#### (2) 巻上げドラム駆動ピニオンの配置

2個の駆動ピニオンをドラムに対称に配置し、装置の軽量化とともに高速化に伴う振動の発生を抑制した。

#### (3) 横行駆動装置

標準駆動ユニットにてトロリ横行用車輪を個別に直接駆動するマルチ駆動方式を採用した。軽量化とともに、ユニットの故障による運休の頻度と期間の低減を図った。

#### (4) ガーダの断面形状

巨大な投影面積を持つ屋外クレーンの場合、本体強度だけでなく、クレーンの基礎も含めその耐力は風荷重による影響が大きく、風荷重への対応は重要課題となる。

ガーダ断面を逆台形の並列配置とすることにより、必要剛性を確保しつつガーダの高さを適正化するとともに、荷振れによるロープとの干渉を回避した。相互のガーダ間隔を狭めることにより、風下側となるガーダへの風荷重を抑制し、脚や走行装置、基礎などの負担を低減させた。

### 2.3 ステップ2 揺脚上部吊上げ

#### (1) 揺脚形状

主断面にパイプ構造を採用することにより、自重と風荷重を低減し、走行装置を含む揺脚の自重を低減した。

その結果、スパンの長大なゴライアスクレーンにおいても、吊り荷の重心移動と、それに伴う起重機船の片側



図5 揺脚中間部取合い  
Joining work of hinged leg

ジブにかかる荷重が、現地での全組立てステップを通して許容範囲内となるように、吊り荷としての左右バランスを改善し、作業の安全性を確保した。

#### (2) ガーダと揺脚上部間の取合い構造

ガーダと揺脚の取合い構造は、一般的な軸連結方式に代わって薄型連結軸受方式を採用し、ガーダ下面と揺脚上面との隙間を低減した。これにより、走行方向水平力による本体構造物への悪影響を排除し、据付け用連結ボルトと工事用連結杭との併用により積木方式での連結が可能となった。

#### (3) 揺動防止ステー

揺脚中間部とガーダ下面の間に揺動防止用仮ステーを設置し、据付け工事期間中の起重機船の揺動による連結部の軸受損傷を防止した(図4)。

### 2.4 ステップ3 剛脚上部吊上げ

#### (1) 剛脚形状

薄板箱型断面を採用し、荷役作業時におけるトロリの横行と吊り荷重の変動によるクレーン全体の横行方向への変形移動を、剛脚断面の図心位置を調整することで低減させ、軽量化とともに荷役における作業性の向上を図った。

#### (2) 剛脚中間部分割位置の設定

揺脚と剛脚の上下モジュールを交互に吊上げて組み立てることから、組立て途上における周辺との干渉など、作業性と継手部にかかる部材力に配慮しながら剛脚中間部分割位置を設定した。

#### (3) ガーダと剛脚上部間の取合い構造

接合面の辺長が10mを超すガーダと剛脚上部の接合面には機械による平面加工を施さず、鋼板フランジ面を高張力ボルトと工事用連結杭の併用により接合作業を簡素化した。加えて、現地組立て時のトラブルを防止すべく脚およびガーダ双方当該部の構造と精度などの施工管理を十分に行った。

### 2.5 ステップ4 揺脚下部吊上げ

#### (1) 揺脚中間部の取合い構造

剛脚上部接合方式と同様に、高張力ボルトと工事用連結杭の併用により上下揺脚の鋼板フランジ面を接合した。



図6 揺脚下部と電気品室  
Lower part of hinged leg

上下各2本のパイプフランジ接合部の個別ならびに相互間隔を確保すべく、構造と精度などの施工管理を行った(図5)。

#### (2) 脚と走行装置との取合い

脚主断面にパイプ断面を採用した場合、主管と走行装置、シルビーム3者の取合い関係が複雑になりやすい。巨大な荷重を無理なく最短ルートで伝達すべく構造を簡素でスリムなものとし、地上側周辺機器との干渉を回避した(図6)。

### 2.6 ステップ5 剛脚下部吊上げ

#### (1) 走行駆動装置

トロリの横行装置と同様に、車輪を標準駆動ユニットで個別に直接駆動させることにより、軽量化とともに突風への耐力を向上させた。

#### (2) 走行バランスユニット形状

上下のバランス構造を簡素軽量化し、繰り返し生産に対応させるとともに、装置の高さを抑えることにより、水平力への耐力を強化した。

### 2.7 制御装置

#### (1) 電気品室の分散配置

電気品室を主・補トロリ、剛脚上部および揺剛各脚下部のモジュールごとに分散配置させた。各電気品室をクレーン本体と平行製作し、工場内にて事前に組合せ試験を実施することにより、品質の確保と全体工期の短縮を図った。

#### (2) 高圧電気配線

工場内で作り込まれた電気品室間は、高圧電気配線にて連結することで軽量化した。また、現地での接続は端子箱部のみとし、現地における工期の短縮を図った。

## 3 ゴライアスクレーンの解体工事

新規クレーンの据付け工事と異なり、クレーンの解体工事においては、対象となるクレーンは解体直前まで荷役作業をしている。また、造船所内では撤去作業に使用するスペースを速やかに明け渡す必要がある。このことから、海上クレーンにより一気に据付けが可能となった前述の新規クレーン海上組立て工法以上に、その工期と作業スペースの縮小が求め



図7 クレーンの解体作業  
Dismantling of existing crane



図8 脚下部ブロックの吊上げ  
Lift of a work of hinged leg

られる。

### 3.1 事前調査

#### (1) 実機調査

他社製クレーンの解体工事の場合、機体の詳細な製作情報は不明な部分が多く、実機調査によりその仕様(主構造物の板厚や補剛状況など)の事前確認が必要となる。

#### (2) クレーン重量重心とガーダ強度

実機の調査結果にもとづき、クレーンの重量重心位置や解体における分割要領とその位置を検討した。

ガーダ本体強度を検討した結果、一部に挫屈対策を施せば、揺脚および剛脚ともその中間高さ位置で切断し、ガーダと一体での吊上げ解体が十分可能であることが判明した。

#### (3) 脚の分割位置

脚中間部分での切断高さ位置は、安全性と作業性(高いほどガーダ両端への荷重負担が少なく、低いほど脚下部固定工事が簡素になる)の双方に配慮しつつ決定した。

#### (4) 吊り環と機体内部への補強

起重機船による吊上げ工事の場合、分割ブロックごとに吊り環の設置が必要であり、今回のような大荷重対応の吊り環を薄板構造物に追加する場合は、対応する機体内部への補強工事が発生する。しかしながら、すでにでき上がった大型構造物内部への補強工事は、部品の搬入を含め作業性が悪い。

本工事においては、吊り環取付けに当たり構造物内部への補強は行わず、吊り環ブロックを機体の外部のみに取付ける構造を検討し採用した。

### 3.2 解体工事

#### (1) 上部ブロックの解体

脚中間部にて切断する前に、吊上げ対象となる重量を超える荷重にてクレーンの吊上げを試験的に実施し、ガーダ本体強度の事前確認を行った。

確認の後、ガーダを吊上げ対象重量の中間荷重にて再度吊り上げ、脚中間部にて切断しながら徐々に吊上げ荷

重を増加させ、上部ブロックを下部ブロックより切り離れた(図7)。

#### (2) 解体ヤードにおける脚の刻み分割

造船所作業ヤードにおける脚中央部での切断の後、上部ブロックは近接する解体ヤードに吊上げ曳航した。

揺剛両脚上部は、解体作業における高所作業を低減すべく、小刻みな切断と起重機船全体の横移動を交互に繰り返し、最後にガーダブロックを地上に降ろした。

#### (3) 脚下部の固定

起重機船によりクレーンの上部ブロックを吊り上げる時、クレーン自重の支持点が地上側走行レールから起重機側吊り具へと移っていく。この移動に伴い、ガーダと各脚のたわみの方向と量に変化していく。このことから、クレーン脚下部ブロックの支持においては、その変化への追従を配慮した構造と工事手順により、安全確実に作業を行った。

#### (4) 脚下部ブロックの解体

上部ブロックを撤去した後、揺剛各脚の下部ブロックは順次起重機船にて吊り上げて解体ヤードへ吊り曳航し、工事を完了させた(図8)。

## 4 あとがき

(1) 大容量ゴライアスクレーンの更新据付けに対する造船所の要望に対し、工事部門主導での大胆な海上組立て工法を提案した。その工法をクレーンの基本計画へ転用し、新機構・新構造のクレーンを開発した。1995年に初号機を市場に投入して以降、これまで国内に20余台を納入している。

(2) ストランドジャッキを用いた据付け工法など、海外における他方式での据付け工法においても、クレーンの構造を変化させることで対応し、計10余台(海外メーカーへの技術提携供与による製作)の納入実績を有している。

今後もさらなる国内外のニーズの把握とその具現化に注力していきたい。

# 連続式揚炭機のBE部分更新および電動駆動化

Renewal of Continuous Coal Unloader's Bucket Elevator Part, and Introduction of Electric Motor Drive

●山中正夫\*  
Masao YAMANAKA



図1 連続式揚炭機外観  
Continuous coal unloader

バケットエレベータ(BE)型連続式揚炭機(アンローダ)は、1983年に四国電力株式会社西条発電所に納入した設備が、石炭火力発電所における燃料炭の陸揚げ用として日本の発電所に採用された初号機である。比較的新しい型式の揚炭機であるが、以後ほとんどすべての揚炭機がこの型式となっている。

これらの揚炭機は稼働後20年程度経過すると、特に使用環境の厳しいBE部分において老朽化が進み、更新が必要な時期を迎える。一般的にはこのような設備が老朽化した際には、設備全体の更新が検討される。ところが、揚炭機の本体部分はさらなる長期の使用が可能であり、BE部分のみ更新することで更新費用を大幅に削減できる。

また、更新の際には、油圧駆動機器に対する電動駆動化を同時に実施することで保守性、稼働率、省エネルギー性および環境対応性なども向上させ、機能アップしたうえでの更新が可能となり、費用削減と機能改善の両方が実現できる。

本報では、このBE部分の更新および電動駆動化の概要を紹介する。

A bucket-elevator (BE) type of continuous coal unloader that SHI delivered for Shikoku Electric Power Co., Inc. Saijo Thermal Power Station in 1983 was the first coal unloader installed in a coal-fired power plant in Japan. The machine was relatively new model, but most of the coal unloaders have adopted the model ever since. The BE should be renewed after about 20 year operation in its severe environment, because that portion of the machine is to be superannuated by then. Generally speaking, when this kind of equipment is superannuated, the examination of renewal of the entire machine has to be made. However, since a main part of the uploader can be endurable for further extended period of time, it would be possible to significantly reduce the renewal cost by only upgrading the BE part. Furthermore, at the time of the renewal, functionalities, including maintainability, utilization rate, energy efficiency and environmental responsiveness, can be enhanced by replacing its hydraulic drive with electric one. Thus, both cost reduction and performance improvement can be realized at the same time. This paper describes how the renewal of the BE part and the drive-upgrade to electric one can be done.

## 1 まえがき

石炭火力発電所における燃料炭の陸揚げ用として、BE型連続式揚炭機(アンローダ)が多数稼働している。本型式の揚炭機は、従来のグラブバケット式揚炭機に比べ荷役効率が高

く環境対応性が良いことなどで、四国電力株式会社西条発電所に発電所用初号機が導入されて以来、揚炭機の主流となっている。

これらの揚炭機は稼働後20年程度経過すると、特に使用環境の厳しいBE部分において老朽化が進み、更新が必要な時



図2 石炭掻取り部  
Toe of bucket elevators

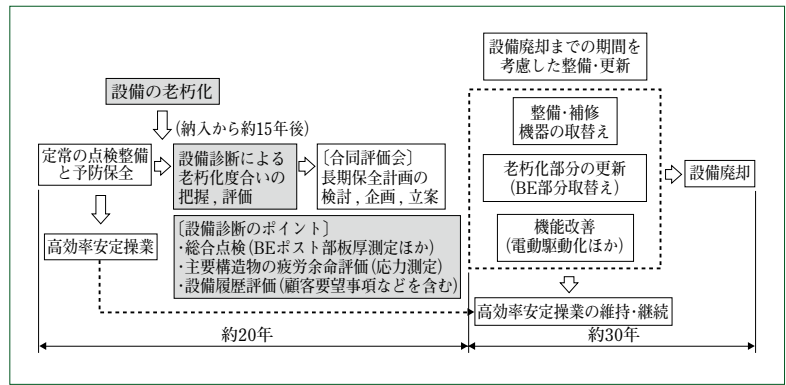


図3 揚炭機の部分更新フロー(例)  
Flow of partial renewal for continuous coal unloader

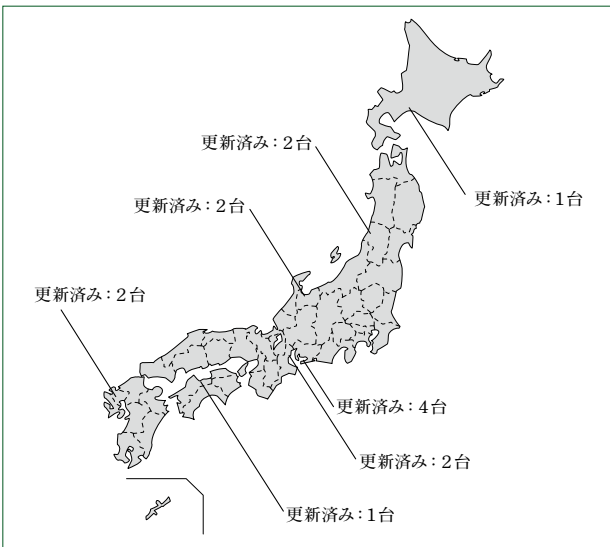


図4 連続式揚炭機の部分更新実績  
Results of partial renewal for continuous coal unloader

本報で紹介するBE型連続式揚炭機は、2条のループ状のチェーンに取り付けた多数のバケットを連続的に回すことで石炭の掻取りと持揚げを同時に行うものである。燃料炭の供給ができなくなると発電停止に至ることから、発電主機に次いで重要な設備に位置付けられる。

1983年に西条発電所に導入された設備が日本の発電所に採用された初号機で、比較的新しい型式の揚炭機であったが、以後ほとんどの揚炭機がこの型式となっている。図1に連続式揚炭機外観を、図2にBE掻取り部を示す。

### 3 揚炭機の更新計画概要

揚炭機は稼働後20年程度経過すると、特に使用環境の厳しいBE部分において老朽化が進行し、更新が必要な時期を迎える。

設備の老朽化に対しては、補修延命、部分更新および全体更新の選択肢があるが、揚炭機の老朽化に対する対応としては下記①～③の理由で部分更新が最も合理的と考えられる。

- ① 揚炭機の老朽化部分はBE部分に限定される。このことから長期間の使用が可能な本体部分を流用することで、更新費用を大幅に削減でき、揚炭機の本体部分を取り替えることなく発電プラントの寿命まで使用可能となる。
- ② 補修の場合でも相応の費用と期間を要し、補修期間中は揚炭ができない。さらに補修だけではその後の長期使用は困難で、結局は追加の更新が必要となる。
- ③ 老朽化が進行しているBE部分を更新すれば、揚炭機の心臓部であるBE部分に最新技術を導入し、機能改善による性能向上も同時に実現できる。また、油圧装置の電動化により保守性の向上も可能となる。

図3の揚炭機の部分更新フローに示したように、まず、稼働後15年程度で設備診断を実施する。診断のポイントは、「主要構造物の点検や応力測定と、それにもとづく余寿命評価」と「過去の不具合履歴や、運用現場(顧客)の改善要望などの設備履歴評価」である。その後、合同評価会において設備診断結果を顧客と合同で評価し、今後の長期保全計画ならびに更新範囲や更新時期について方針を策定する。

細かい点では納入設備ごとに多少異なるが、設備診断を実施した揚炭機は、いずれも次のような評価結果が得られており、それにもとづいて更新工事を計画した。

- ① BE部分  
腐食・摩耗によるBEポストの板厚減肉と、構成部材

期を迎える。

一般的にはこのような設備が老朽化した際には、設備全体の更新が検討される。ところが、揚炭機の本体部分はさらなる長期の使用が可能であり、BE部分のみ更新することで更新費用を大幅に削減できる。

また、更新の際には油圧駆動機器に対する電動駆動化を同時に実施することで保守性、稼働率、省エネルギー性および環境対応性なども向上させ、機能アップしたうえで更新が可能となり、費用削減と機能改善の双方が実現できる。

本方式での住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械エンジニアリングサービス株式会社)の更新実績は、前述の西条発電所納入設備をはじめ14台を数え、今後も複数台の更新工事が予定されている。

本報では、このBE部分の更新および電動駆動化の概要を紹介する。

## 2 連続式揚炭機の概要

石炭火力発電所では、発電量1000kW当たり年間約2000t強の石炭を燃料として消費する。たとえば100万kWhの発電所であれば、年間約200万t強の石炭を消費している。この膨大な量の燃料炭を石炭運搬船から発電所に陸揚げする設備が揚炭機である。

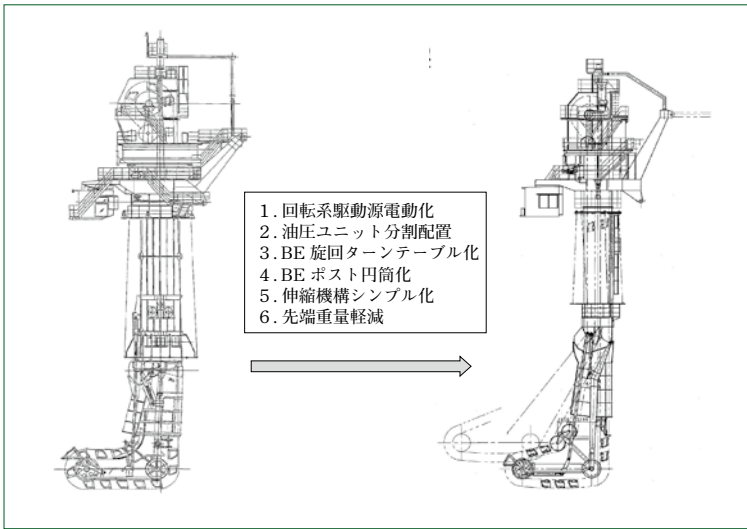


図5 BE部分機能改善更新内容  
Details of partial renewal for bucket elevators mechanism

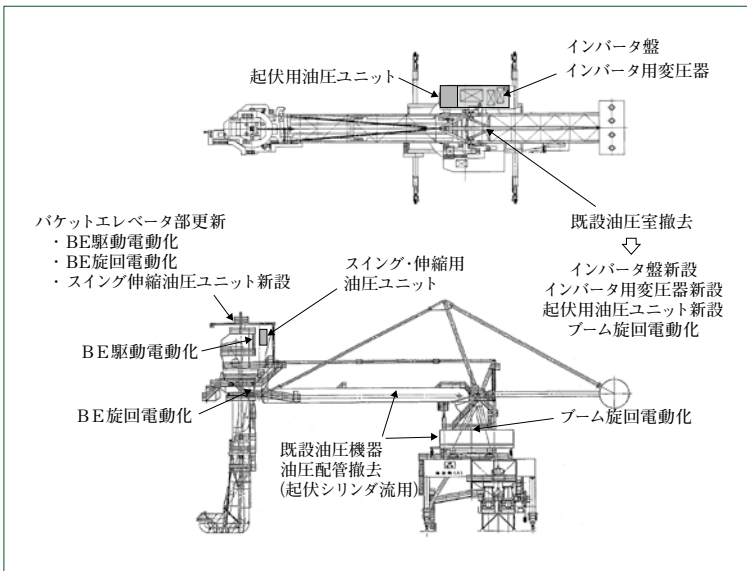


図6 電動駆動化に伴う工事内容  
Conversion works of electric drive

の金属疲労が進行しており更新が必要である。また、BE部分は技術革新が進んでいることから、最新技術を導入し機能改善したBEへ更新するのが望ましい。

② 本体構造物と機器

応力測定の結果、本体構造物は十分な疲労寿命を有し長期耐用が可能である。また、構成機器はコンベヤなどの汎用設備であり、機能改善の必要がなくそのまま流用可能である。

③ 油圧装置

設備履歴調査の結果、油圧機器の保守や故障対応に費用と労力を費やしており、ランニングコストの低減ならびに揚炭機稼働率向上の実現には電動駆動化が望ましい。

このようにして作成された更新計画にもとづく部分更新の実績は現在14台を数え(図4)、今後も複数台の更新工事が予定されている。

## 4 揚炭機の部分更新および電動駆動化にかかわる技術概要

### 4.1 BE部分の機能改善更新

	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月
除却工事	■		
クレーン船作業	■		
据付け工事		■	■
無負荷試運転		■	■
官庁検査			■
負荷試運転			■

図7 揚炭機の部分更新と電動化の工事工程表  
Flowchart for conversion works of electric drive

前述の通り、BE部分は使用環境が厳しく老朽化の進行が早いことからライフサイクル中間地点での更新が必要となる。また、連続式揚炭機は比較的新しい機種であり、特に心臓部であるBE部分は納入当初に比べ技術革新が進んでいる。

これらを勘案し、BE部分の更新は最新技術の導入による機能改善を考慮して実施し、長期的に高効率で安定操作が可能な設備に復活させている。

BE部分の更新における主たる機能改善項目は次の通りである。

- ① BE駆動、BE旋回の回転駆動系を油圧駆動からインバータ制御の電動駆動に変更し、保守性、稼働率、省エネルギー性および環境対応性を向上させる。

なお、本体側のブーム旋回も電動駆動化し、回転駆動系のオール電化を実現している。

- ② 油圧駆動として残るシリンダ駆動系のスイング・伸縮用油圧ユニットは、揚炭機の本体側の起伏用油圧ユニットとは分割して

BE部分に配置することにより、保守性の向上と油圧配管の最少化を図る。

- ③ BE旋回機構は、車輪支持方式から旋回軸受(ターンテーブルベアリング)支持方式とし、軽量・コンパクト化を図る。
- ④ BEポストは、矩形タイプから円筒タイプに変更することにより、内面への石炭の付着を低減させ、石炭運搬船のハッチ壁への寄付きを向上させる。
- ⑤ 伸縮機構などに対しシンプルな最新モデルを適用し、保守性の向上と軽量・コンパクト化を図る。
- ⑥ 設備履歴および顧客ニーズを反映した機能改善を取り入れる。

なお、BE部分を軽量化することで本体構造物の疲労寿命に与える影響を軽減し、設備全体としてもより安全となるよう配慮する。図5に、BE部分機能改善更新内容を示す。

### 4.2 油圧駆動の電動駆動化

更新対象の各揚炭機は、1980年中頃から1990年前半に納入された設備である。当時は揚炭機に適用できるレベルのインバータ技術が確立されておらず、直流電動機か油圧駆動かの選択において、油圧駆動を採用していた。

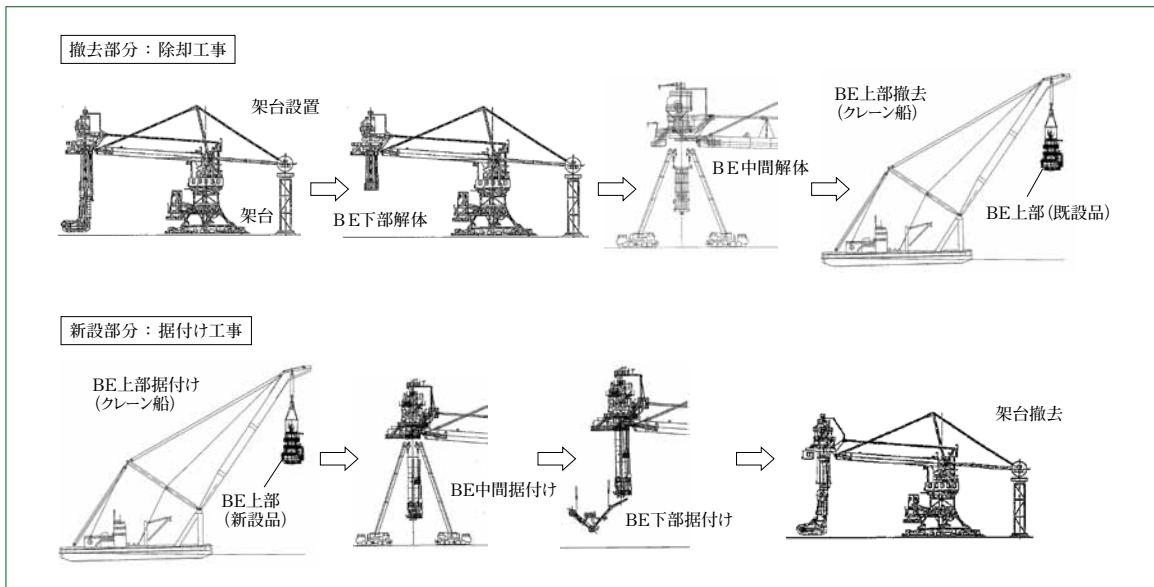


図8 揚炭機BE部分更新工事手順  
Steps of partial renewal for bucket elevators mechanism

しかしながら、納入先の運用現場各所から「油圧の保守が大変」との声が多く聞かれた。住友重機械搬送システムは、大容量インバータ技術の進歩を鑑み1980年代後半からインバータ制御による回転駆動源オール電動化の開発に着手し、1994年に世界に先駆け回転系駆動源のすべてを電動駆動化した連続式揚炭機を開発し納入した。それ以降は、すべて電動駆動方式で納入している。

更新対象機においても、顧客ニーズに応え回転系駆動源のオール電化で対応している。

電動駆動化によるメリットは次の通りである。

① 保守性の向上

油圧装置は複雑で、取扱いに専門の知識が必要であるうえに油圧ポンプおよび油圧モータなどの定期的なオーバーホールや、油圧作動油および油圧ホースなどの定期的な交換が必要である。

さらに保守時や故障対応時には作動油の養生が必要となるが電動駆動の場合、堅牢なかご型モータにより保守は軽微で、損耗品も少ない。電動駆動化によりこのような問題が解消し、保守性が向上する。

② 信頼性と稼働率の向上

油圧装置は摺動部品が多く、電動に比べ経年稼働による故障が起きやすいうえに、故障部位や原因の特定が難しく不具合復旧に時間を要することから、全体の稼働率が低下する。また、機器損傷時は、2次故障を防止すべく油圧配管の回路フラッシングが不可欠であるが、フラッシングを実施しても異物が回収しきれず不具合が再発する可能性がある。電動駆動化により、このような油圧機器の故障が解消され、信頼性と稼働率が向上する。

③ 省エネルギー

石炭1tの陸揚げに必要な電力量は、油圧の場合約0.45kWhであるが、電動化により約0.35kWhに低減するなど伝達効率の高い電動駆動の方が消費電力量を低減できる。

④ 環境対応性

電動駆動化により揚炭機全体音で約5dB(A)の低減が

図れ、振動および騒音が低減される。また、海上への油汚染の問題が解消される。

## 5 更新工事の概要

図6に、電動駆動化に伴う工事内容を示す。BE部分更新および電動駆動化の現地工事ならびに試運転は、図7の揚炭機部分更新電動化工事工程表と、図8の揚炭機BE部分更新工事手順に示す工期と手順で実施される。

揚炭機はバランス機械であることから解体の前に後方のバラストタンク部を架台で受ける。その後、BEの下部、中間部、上部の順に解体を進める。上部の解体は600t級の海上クレーンで一括解体する。新設部分の据付けは解体工事と逆の手順で行う。

既設部分の除却を含め、約2.5ヶ月の工事ならびに試運転期間(揚炭作業停止期間)で更新が完了する。

## 6 むすび

(1) 揚炭機は独立した荷役設備ではあるが、老朽化対応においては、当該設備だけでなく発電設備と合わせたライフサイクルを勘案し、最適な更新形態を構築することが重要なプロセスであると考えられる。

(2) 本報で紹介した連続式揚炭機の更新事例が、ほかの類似設備の更新計画において参考になれば幸いである。

製品開発から営業、設計、製造および据付け試運転までの総合エンジニアリングだけでなく、アフターサービスまで一貫して対応している総合マテリアルハンドリングメーカーとして、今後とも荷役設備のライフサイクルサポートにより顧客価値の創造にまい進する所存である。



# 物流・駐車場設備のリモートメンテナンス

## Remote Observation of Logistics & Parking Systems

● 小島 宏志\* 中藤 雄策\* 岡 伸一\*  
Hiroshi KOJIMA Yusaku NAKATOH Shinichi OKA

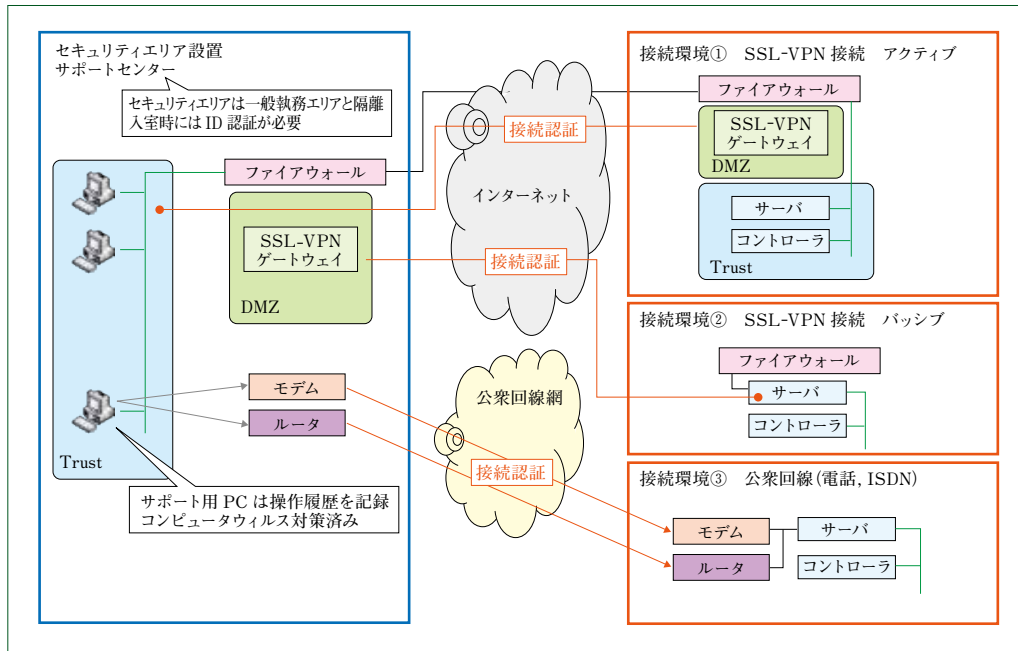


図1 セキュリティを確保したリモート接続  
Remote connection for secured security

住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械工業株式会社ロジスティクス&パーキングシステム事業部)は、物流システム分野において、工場内物流設備と情報システムのトータルエンジニアリングで最適なソリューションを市場に提供しており、さまざまな顧客より高い評価を得ている。

特にフィルムロール搬送分野では、ジャイロナビゲーション方式の無人搬送システムなどの特化された商品群を市場に提供しており、顧客の生産性向上に寄与している。

また機械式駐車場分野では、高いレイアウト性と高収容率を実現するパズル式のスマパークが特に都市型オフィスおよび高層マンション向けにシェアを伸ばしている。

これらの商品については、納入後のシステム改善や故障時の早急な復旧対応などのアフターサービスが非常に重要であることから、リモート接続によるメンテナンスは今後も必須の機能であると言える。

In the logistics industry, Sumitomo Heavy Industries Material Handling Systems Co., Ltd. (the former Sumitomo Heavy Industries, Ltd. Logistics & Parking System Division) has provided optimal total-engineering-solutions to indoor logistics equipment and information systems in the market, and as a result, has gained a fine reputation from various clients. Especially, with regard to the filmroll handling, SHI-MH provides differentiated AGB (automated guided vehicles) with gyro-navigation system differentiated from ones of other companies. These products contribute to improvement of clients' productivity. In the area of the mechanical parking facility, SHI-MH provides a puzzle-type parking station called SUMIPARK, which realizes highly flexible layout and space efficiency, and is expanding market share in this area by especially building SUMIPARKs for high-rise office buildings and condominiums located in urban areas. Since after-sales services such as system improvement and speedy repair at the time of mechanical failures are absolutely important for these products, the remote monitoring and maintenance system would continue to be an essential functions for them.

### 1 まえがき

住友重機械搬送システム株式会社は、自動倉庫システムおよび無人搬送システムを代表とする物流製品を国内外市場に投入し、数々の顧客から高い評価を得てきた。また地下機械式駐車場は、その収納効率の高さから東京都心部のみならず

国内全域の大都市にも販売展開している。このような自動化設備においては、機械の故障や誤操作による設備の停止時間を極力短くすることが非常に重要であるが、その解決手段の一つとしてリモートメンテナンスサービスがある。

住友重機械搬送システムは、業界内でもいち早くこのサービスを開発し1980年代から実用化しており、その便宜性につ

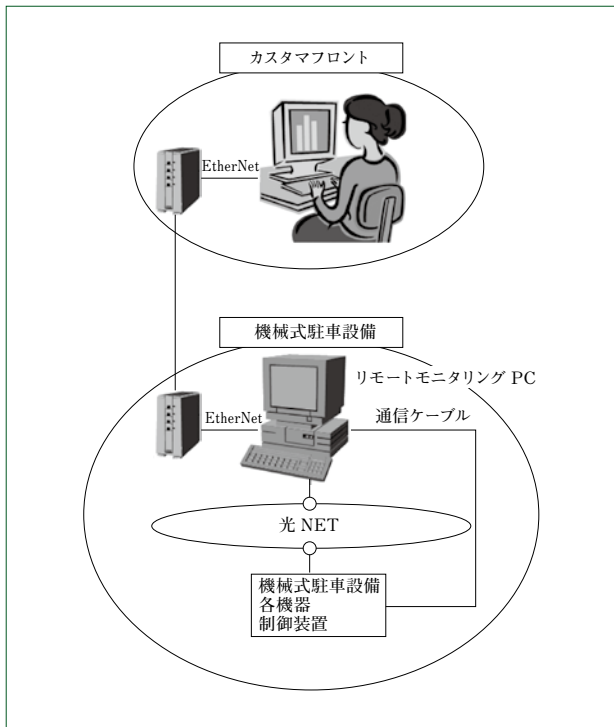


図2 カスタマフロントと機械式駐車場のリモート接続  
Remote connection from parking system to customer front service

いては高い評価を得てきた。さらに近年では、通信機器の進歩や通信インフラの技術革新によって、より高度なサービスも行えるようになってきた。

本報では、リモートメンテナンスの近年における技術を紹介するとともに、将来の技術展開について考察する。

## 2 FAシステムのリモート接続におけるセキュリティ強化

住友重機械搬送システムの物流システム事業は、一般的な在庫管理を主とした倉庫管理から、工場内生産物流を担うFA (Factory Automation) システム、MES (Manufacturing Execution System) および通販などの流通設備向けのWMS (Warehouse Management System) まで多岐にわたる分野を手がけている。

しかしながら、顧客の在庫情報・入出荷情報は機密情報であり、外部からのリモート接続においては、その機密漏洩を心配する顧客も多い。また、リモート接続からのウィルス侵入に対しても、十分な対策をしておく必要がある。

このようなニーズに対して、次のセキュリティ対策を講じることにより、安全でかつ機密性の高いリモート接続を実施している。

### 2.1 セキュリティエリアの設置

リモート接続に使用するPC端末は、住友重機械搬送システム事務所内の専用のセキュリティエリアに配置され、一般執務エリアとは隔離された環境に置かれている。サポートセンター入室時には、生体認証によるID確認にてメンテナンス業務を許可された者しか入室できない。

また、これらの端末は社内イントラネットとは切り離されたネットワーク下に置かれており、社内の機密とも隔離されている。

表1 情報セキュリティの運用基準  
Operation standard of information security

項目	基準
サポートセンター内のセキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンス業務は社内ですべて許可された者のみ</li> <li>・指紋認証による入退室管理と施錠</li> <li>・社内LANとはファイアウォールで分離</li> </ul>
操作ログの保管	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サポート用PCの操作ログを蓄積保管</li> <li>・オペレーション状況の確認</li> </ul>
ウィルス対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サポート用PCにはウィルス対策ソフトを導入</li> <li>・定期的なパターンファイルの更新およびWindowsUpdateの実行</li> </ul>
サポート用回線の安全措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイヤルアップネットワークは社内の限定されたアクセスルートのみ</li> <li>・発信者番号通知</li> <li>・IDおよびパスワード認証</li> </ul>
リモートメンテナンス管理体制、運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リモートメンテナンス作業はセキュリティ管理者の許可が必須</li> <li>・作業終了後はお客様に連絡(必要に応じて作業報告書作成)</li> <li>・セキュリティ管理者が作業内容と監査記録(オペレーションログ、入退室記録)を照合</li> </ul>
当社外からのアクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基本的に禁止。設計担当が社外で、かつセキュリティ管理者が緊急性があると判断した場合の特例</li> <li>・リモートメンテナンス網に一度ログインした後、お客様へアクセスすることで安全性を確保</li> </ul>

### 2.2 リモート接続方法

リモートメンテナンスサービスの提供当初は、電話回線網によるダイヤルアップ接続に限定されていた。しかしながら、近年のインターネットの普及に伴い公衆回線網が発達し、通信品質の向上、高速化、広域化、インフラコストの低減およびセキュリティ技術の確立が進み、図1に示すように顧客の設置環境に応じたさまざまな接続方法を選択できるようになった。

図1における接続環境①と②は、インターネット回線を利用したリモート接続方式であり、いずれもセキュアな通信方式としてSSL-VPN (Secure Socket Layer Virtual Private Network) を構築した一般的な手法を使用している。本接続においては、接続認証によってVPNが構築され、トンネリング・暗号化により、外部からの不正侵入や通信漏洩を防いでいる。また、サポートセンターシステムと顧客システムはファイアウォールによって分離されており、直結しない構成となっている。

接続環境③は、公衆電話回線とモデム・ルータを用いた接続方法であり、従来から最も多く使用された方式である。本方式は通信速度や通信費用などに難があり、利便性という点では劣るものの、P2P (Peer To Peer) の接続であることから発信制限が容易であり、外部とのセキュリティ保護という点では優れており、いまだこの方式を指定する顧客も多い。

### 2.3 リモート接続における運用規準

リモート接続においては、独自の運用規準を定めて運用しており、内部監査による運用の管理と、顧客に対し必要に応じて規準の開示を行っている(表1)。

まず、サポートセンターにおいては前述の入室認証に加え、入退室の記録とリモート接続の記録を残すようにしている。

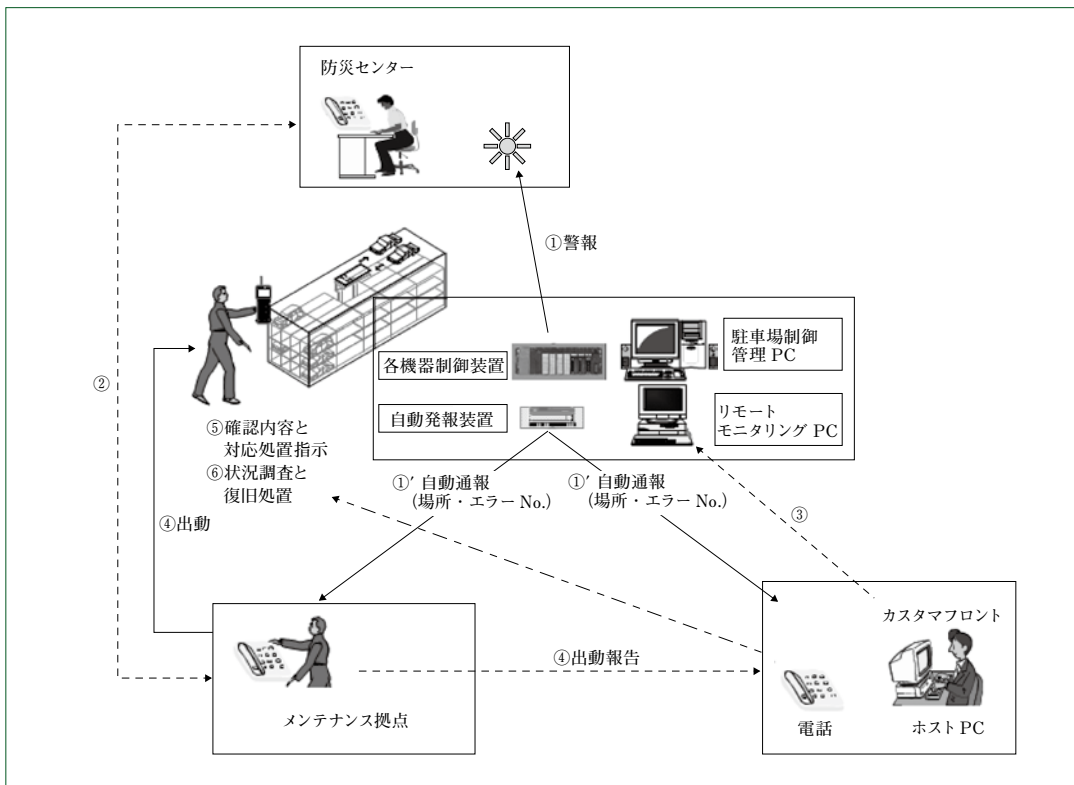


図3 故障発生時の情報の流れ  
Failure information flow of parking system

また、PC端末では操作ログをすべて蓄積保管しており、上記記録と照合することにより、不正使用を防止している。接続作業においては、社内のセキュリティ管理者と顧客から許可を得て作業を開始し、終了時にはおのおのへの完了報告を義務付けている。

さらに、ウィルス対策としては個々のPC端末にウィルス対策ソフトを導入しており、最新のパターンファイルの更新とOSのアップデートを定期的実施している。

このようなセキュリティ対策と運用により、住友重機械搬送システムのリモートメンテナンス作業は確立されており、納入した設備の安定操業と保守作業に大きく貢献している。

### 3 自動発報システムによる遠隔監視

24時間無人稼働のFAシステムや、機械式駐車場システムにおいては、リモートサポートによる故障発生時の自動発報装置を顧客の要望によって装備しており、住友重機械搬送システムへの自動通報によって故障発生時の迅速な復旧を可能としている。次に、機械式駐車場を例にとって説明する。

#### 3.1 システムの構成

自動発報システムは、図2に示すようにカスタマフロントのHOST PCと、機械式駐車設備のリモートモニタリングPCを起点とした機械式駐車設備の各機器制御装置とのデータ通信網により構成されている。

機械式駐車設備の各機器制御装置によって検出された故障は、駐車場を管理運営している防災センターに通報される。一方では、故障通報装置を介して電話回線により、カスタマフロントとメンテナンスサービス拠点に「現場番号」と「故障重要度」が自動的に通報される。

#### 3.2 システムの特長

リモートモニタリングPCは、光NETで接続された各機器制御装置間の通信データを記憶するとともに、各機器のセンサ情報の読み出しやプログラムをモニタすることができる。HOST PCでは、リモート接続によりリモートモニタリングPCに記憶された現場状況などの情報をビジュアル化し、画面で確認することが可能である。

この機能により、設備停止時にカスタマフロントでの停止原因の確認および設備停止状況の把握が可能となった。それによって、現場に向かったメンテナンス員に対し、確認項目および復旧手順を指示することができ、設備復旧までの時間短縮を実現した。

また、記憶された各機器制御装置間の通信データにより、設備故障時の原因解明が容易になり、すみやかに改善策をとることができる。

#### 3.3 機械式駐車場における自動発報時の体制フロー

図3は、故障発生時の情報の流れと人の動作を表している。

①～⑥に体制フロー内容を示す。

- ① 故障発生とともに自動発報装置により次の3箇所に故障通報を発報。
  - ・機械式駐車場を管理運営している防災センター
  - ・住友重機械搬送システム カスタマフロント(新橋事業所内)
  - ・当該メンテナンス拠点
- ② メンテナンス拠点より防災センターに状況確認の電話連絡。
- ③ カスタマフロントでの遠隔監視システムによる故障内容の確認。

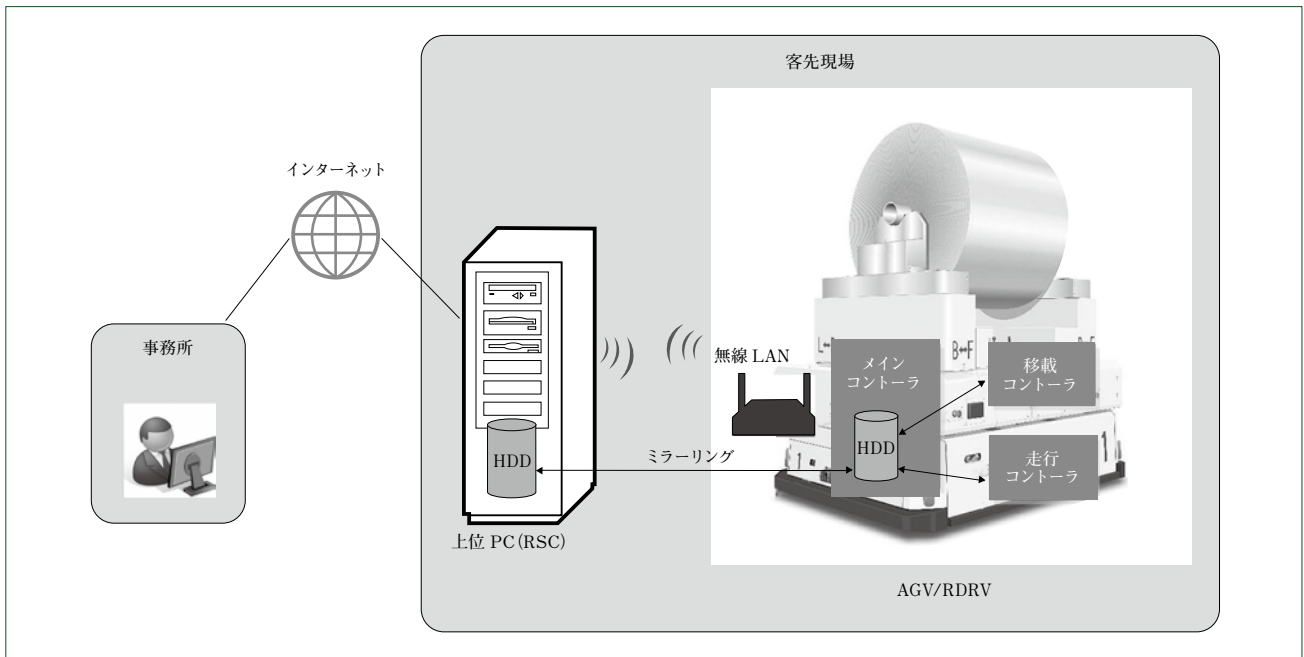


図4 AGV詳細ログ収集システム  
Detail logging system of AGV

- ④ メンテナンス拠点からの出動が必要な故障の場合はカスタマフロントに報告後、現地に出勤。
- ⑤ メンテナンス拠点からの出動者は、カスタマフロントに現地到着を報告、その際に遠隔監視システムにて確認した内容にもとづき、カスタマフロントは出動者に確認内容および対応処置を指示。
- ⑥ 現地出動者は、カスタマフロントの指示に従い現地状況を調査し、処置内容を確認のうえ故障復旧作業を実施。このように自動発報システムの装備とサービス体制を充実させており、機械式駐車場の一般的な利用者が操作する設備において有効に活用されている。

#### 4 無線LANによる移動体からの稼働履歴収集

住友重機械搬送システムは、さまざまな業界のFAシステムにおいて、無人搬送台車(Automated Guided Vehicle AGV)を納入しており、顧客から高い評価を得ている。

AGVは生産ラインと直結したシステムであることが多く、顧客からは故障時復旧時間短縮への強い要求があり、緊急時における装置の早急な状態把握と稼働履歴収集は必要不可欠の機能であった。しかしながら、AGVは移動体であることから、その履歴収集は従来手動操作で行われていたが、近年の無線LAN技術の向上に伴い、リモート接続によって自動化を可能とした。

##### 4.1 新方式の稼働履歴収集機能

AGV本体のコントローラは、通常稼働時においてその詳細動作履歴とデバッグ情報およびアラーム情報を管理している。

今回、この本体コントローラに無線LANデバイスを接続し、無線LAN経由で地上側PCからアクセスできるようにした。また、アラームをトリガとして自動的に日付+時間名のフォルダを作成し、アラーム情報を記録する機能を追加した(図4)。このアラーム情報は、データ量がオーバーフローしな

いように、指定された日数を超過した古いフォルダを自動で削除する仕様としている。

詳細履歴を収集する場合、従来はサービスマンがその都度直接現地に向いたが、リモート接続によって稼働履歴の収集が可能となり、故障診断時間を大幅に短縮することができるようになった。

#### 5 今後の技術展開

近年のスマートフォンに代表されるモバイル機器の普及により、通信インフラの速度アップと端末および周辺機器の進歩が著しい。そのような中でウェブカメラの映像による正確な状況把握や、クラウド環境を利用したタブレットPCの活用により、顧客・サービス員・カスタマフロントの情報共有が可能となった。これらはトラブル復旧のさらなるスピードアップに貢献すると考える。

また故障時の対応だけでなく、予防保全という観点からもリモートメンテナンスを有効活用することを計画している。具体例としては、設備の稼働回数履歴から部品交換の推奨時期の提案をしたり、蓄積したエラー履歴から各設備や装置における異常の頻度および傾向を分析し、最適な改善案を提案するなどがあげられる。

#### 6 むすび

顧客サービスのレベルアップにおいては、リモートサービスおよびリモートメンテナンスは必須の技術である。

今後もリモート機能の拡充により、顧客の業務効率向上や故障復旧時間の短縮など顧客満足度のさらなる向上に取り組む所存である。

※「スミパーク」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

# ハイブリッド・自動運転機能付き浚渫機への改造

## Automated Grab Dredger with Hybrid Power System

● 高橋 清文\*  
Kiyofumi TAKAHASHI



浚渫機  
Grab bucket dredger

### 1 はじめに

近年、温室効果ガス排出削減や燃料消費量削減を目的としたハイブリッドシステム、人工衛星を利用して現在位置を正確に割り出す全地球測位システム(GPS)ならびに作業の効率化およびオペレータの負担低減を目的とした自動運転システムの進歩には著しい成果が見られる。

住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械エンジニアリングサービス株式会社)は、寄神建設株式会社所有の起重機船 11 神星にこれらの技術を総合的に活用したグラブ浚渫機機能を付加すべく改造工事を行ったので、その改造内容について解説する。

### 2 浚渫機の概要と主要仕様

浚渫機は、海底の土砂や岩石をさらい、航路を広げ水深を増やしたり、埋め立て用の土砂を採取するなどの目的で使用される。膨大な量の土砂などが荷役対象であり、作業場所が航路と重なるなど時間的制約を受けることから、高速で正確な動作を安定的に供給する必要がある、高い信頼性が要求される。

本機の浚渫作業時における主要仕様を次に示す。

- ・バケツ直巻き荷重 110t
- ・巻上げ開閉速度 55~80m/min
- ・旋回速度 1.2r/min

### 3 機器の構成と配置

既設起重機への改造であることから、既設機器は極力その

ままの状態にして当初機能を保持しつつ、浚渫用各機器を追加配置とした(図1)。

追加の浚渫用各駆動機器は、高効率・高精度な自動運転制御を実現すべく、電動インバータ制御を採用している。

#### 3.1 支持・開閉装置

支持装置、開閉装置ともにフランジマウント式縦型電動機を用い両装置が上下に対称となるように配置することにより後部旋回半径の増加を極力抑制した。さらに、カウンターバラストとしての機能を併せ持たせることにより、機体自重の増加とそれに伴う船体側の負担増を抑制している。

#### 3.2 支持・開閉用バックタワー

支持・開閉ドラムの据付位置および大径ロープの単層ドラムへの巻取り幅の制約から、既設バックタワー上方に新たにフロートシーブを用いた支持・開閉装置用バックタワーを延長設置した。

#### 3.3 旋回装置

旋回フレーム下方に設けられた旋回ギアと、2組の旋回ピニオンからなる油圧モータ駆動装置を縦型電動モータ駆動に置き換えることにより、電気制御による自動運転対応への改造を行った。

#### 3.4 エンジン発電機および電気品室

ハイブリッドシステムの採用により、浚渫用の必要エンジン発電機容量が従来比1/2に低減された。これにより、浚渫機両翼の上方にハイブリッドシステムを含めた電気品室、下方にエンジン発電機を配した左右対称の立体配置が可能となった。

### 4 ハイブリッドシステム

図2に示すように、ハイブリッドバッテリーへの補充バランスの関係から、支持ならびに旋回駆動装置を主体にハイブリッドシステムを適用した。

グラブバケツを開いての巻下げ運転時には、支持モータ側よりハイブリッドバッテリーを充電し、巻上げ運転時にはエンジン発電機およびハイブリッドバッテリーの双方より電動機を駆動している。

掴みならびに巻上げ開始時における電動機の加速動力をバッテリー側電流にて賄うことにより、エンジン側電流の急激な増加を回避し、エンジン発電機容量の小型化を図っている。

同様に旋回装置においても、加速時にハイブリッドバッテリーおよびエンジン発電機双方より旋回電動機を駆動するとともに、減速時には旋回モータ側よりハイブリッドバッテリーを充電している。

### 5 自動運転機能

#### 5.1 掘削位置制御

本機は、旋回方向に多分割された位置で順次自動旋回・停

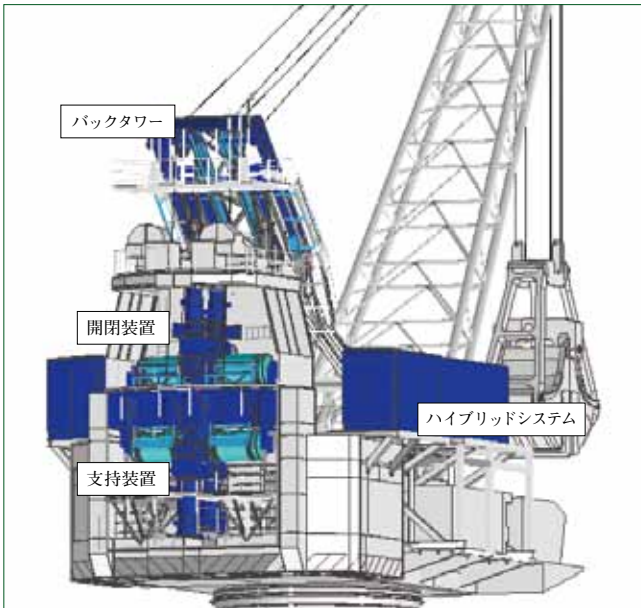


図1 機器構成  
Equipment configuration

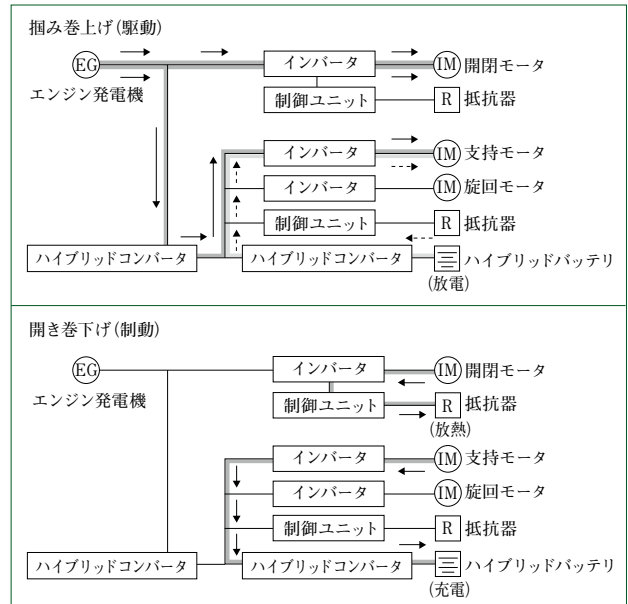


図2 ハイブリッド巻上げ・巻下げ運転  
Hybrid system

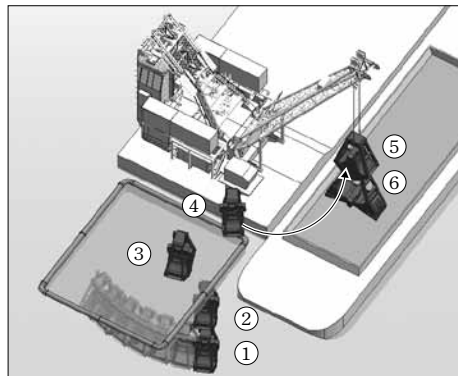
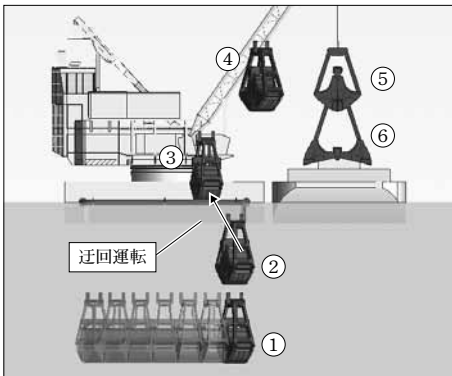


図3 掘削位置制御  
Grab positioning system

止を繰り返し、扇状に掘削している。このとき海面上に設けられた汚濁防止柵とグラブパケツの干渉を回避すべく、旋回動作に迂回運転を組み込んでいる(図3)。

### 5.2 定深度掘削

設定深度とGPS信号に基づき、船体側より入力される潮位、船体のトリム角度、ヒール角度および喫水の各値から必要な揚程を計算して、掘削が計画深度となるようにパケツを自動制御している。

またこのとき、海水面への入水・水切り、海底面への到達・離床各時の衝撃と周辺海水汚濁を低減すべく、各動作の前は徐行運転となるように速度と距離を自動制御している。

### 5.3 水平掘削

開度によりグラブパケツの刃先が上下移動する量に応じて支持ウィンチを巻き上げあるいは巻き下げ、グラブパケツ刃先を水平に移動させて水平掘削となるように、自動制御による無駄のない掘削を行っている。

### 5.4 荷振れの防止

土運船上への旋回運転時には、旋回動作による振れが発生しにくい加減速パターンを採用して最適制御を行っている。さらに、不測の残留振れにより土運船の外へ土砂がこぼれるのを回避すべく、オペレータが目視にて位置と振れを確認し、開き許可を出した後、開き動作に入る半自動運転としている。

## 6 おわりに

11神星は、従来の起重機作業および杭打ち作業能力に加え、ハイブリッド機能とGPS信号を用いた自動運転機能を有したパケツ浚渫作業能力を併せ持つ多目的作業船へと改造された。

- (1) 浚渫作業は荷役対象が膨大な量の土砂などであることから、高速・大容量で長期間の連続運転が行われる。ハイブリッドシステムの採用は、エンジン発電機の小型化と燃料消費量削減が可能となり、CO<sub>2</sub>排出削減に対し効果的である。
- (2) 浚渫機において、GPS信号を用いた自動運転システムの採用は、作業精度の向上とそれに伴う効率化や、周辺環境の汚濁防止などの自然環境保護ならびにオペレータの負担低減において効果的である。
- (3) 浚渫作業は気象海象の影響を受けやすく、適正化された自動運転システムによる確実かつ安定した操業は安全性確保の観点からも有効である。

今後もハイブリッドバッテリーにおける充放電比率、自動運転システムにおける負荷対応の運動加減速、速度設定および運動ルートの適正化を進めることにより、一層の浚渫力強化が期待できる。

# 銅電解用天井クレーン

## Overhead Crane for Copper Electrolysis Facility

●元 田 貴 之\*  
Takayuki MOTODA

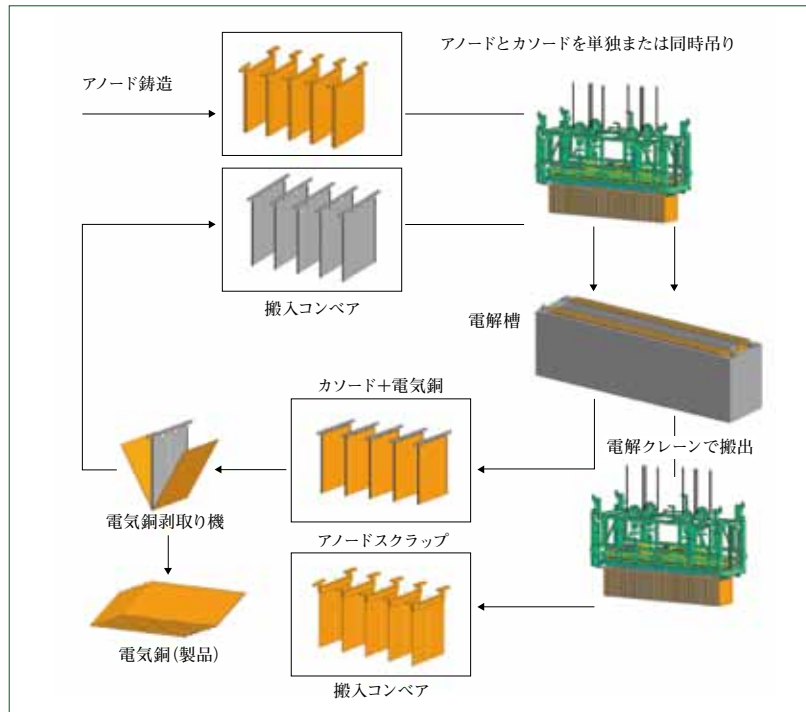


図1 電解クレーン搬送作業  
Transportation task of overhead crane

### 1 はじめに

粗銅から純度の高い純銅にする電解精錬プロセスは、これまでは種板を使用した従来法(コンベンショナル方式)がほとんどであったが、近年はより生産性が高く、品質も向上するパーマネントカソードを使用したアイザー法を採用する電解工場が増加している。

本報では、住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械エンジニアリングサービス株式会社)が新しい電解方法を用いている中国の複数の新設銅電解工場に納入した銅電解用天井クレーン(電解クレーン)について解説する。

### 2 電解プロセスにおける搬送作業

アイザー法は、硫酸銅溶液を満した電解槽内で粗銅のアノードからステンレス板のカソードに直流電流を流すことで、アノード中の銅分を溶解してカソードの表面に純銅(電気銅)を付着させる銅電解方法である。この電解精錬は通常10日間程度行われ、カソードに付着した電気銅が規定量になった段階でカソードを電解槽から取り出し、剥取り機により電気銅を剥離させて製品とする。通常アノードは、数回電解精錬に使用された後、電解槽からスクラップとして取り出して再利用される。電解クレーンは主に電解槽とコンベア間で搬入・搬出作業を担う(図1)。

搬送作業では、複数枚のアノードとカソードを単独または同時に吊りビームで吊り上げる。フックの確実な掛外し動作

を行うには、吊りビームの電解槽およびコンベア上での位置決め精度が重要となる。このことから、位置決め用のガイドを備えた特殊な吊りビームを採用している。

### 3 銅電解用天井クレーンの特徴

図2に、中国の新設電解工場に2台納入された電解クレーンの外観を示す。

#### 3.1 基本性能

本クレーンは定格荷重26.4t、スパン31.5mの仕様で、納入先である中国において天井クレーンのGB規格(中国標準規格)に適合したものである。

電解クレーンは、電解工場内で数百の電解槽への搬入・搬出作業を工場の生産計画に従って行う。生産性の向上には、電解クレーンの搬送サイクルの高速化が要求される。本クレーンでは一般天井クレーンよりも早い3 m/sの走行速度の採用と、吊りビームの位置決め精度を確保すべく次の4つの機能を採用し、搬送サイクルを高速化している。

- ① トロリ下に設置されたガイドフレームによる吊りビームの横行・走行時の振止め機能
- ② サイドローラによる横行・走行時の斜行防止機能
- ③ 横行・走行位置検出に用いる高性能のシンクロ発信器およびレーザ距離計
- ④ 吊りビームの位置決め用ガイド

#### 3.2 吊りビーム

図3に、搬送用の特殊な吊りビームの構成図を示す。



図2 銅電解用天井クレーン  
Overhead crane for copper electrolysis facility

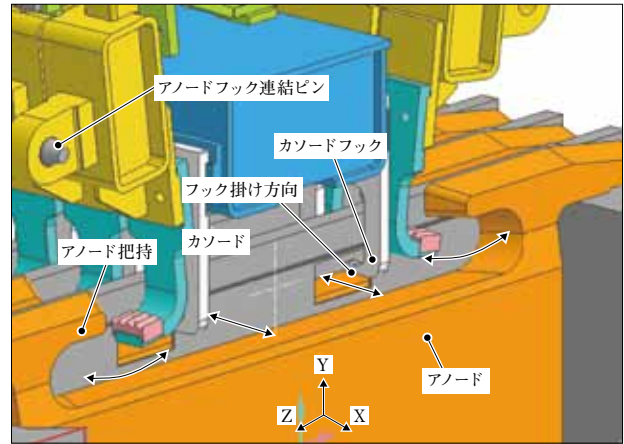


図4 フック掛け動作  
Hanger motion

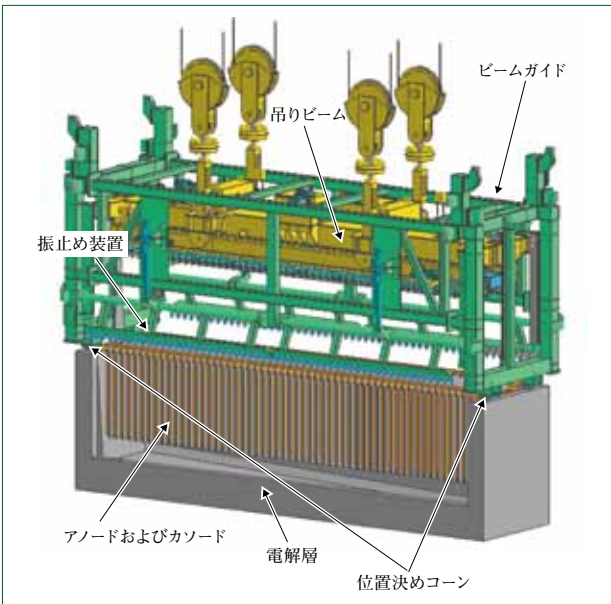


図3 吊りビーム構成図  
Lifting beam configuration

### 3.2.1 吊りビームの構成

吊りビームは、アノードおよびカソードフックを備えた吊りビームと、電解槽およびコンベア着床時の位置決めガイドとなるビームガイドにより構成される。

電解槽とコンベア上では、先に吊りビームに支持されたビームガイドが位置決めコーンに案内されて着床する。その後、吊りビームがガイドに案内されて巻き下げられることにより、フック掛けの位置が決まる。

### 3.2.2 フック掛け動作

図4に、アノードおよびカソードのフック掛け動作を示す。アノードはフックをZ方向に回転させて内側の把持部分に掛け、カソードはフックを吊りビーム長手方向のX方向に水平移動させ、上部の開口部に掛けることで吊り上げる。それぞれのフックの駆動は、吊りビーム中央に設置された電動シリンダで行い、リンク機構によりフックを作動させている。なお、アノードおよびカソードは単独または同時吊りが可能である。

実際のフック掛け動作には、クレーンの製作精度と位置決め性能だけでなく、建屋側走行レール、電解槽、コンベアの設置精度、アノードおよびカソードの製作精度も影響するこ

とから各設備の設置精度などにも十分な配慮が必要である。

### 3.2.3 耐腐食性

電解槽内の硫酸銅溶液から発生する硫酸ミストによる腐食を避けるべく、吊りビームおよびフックには耐腐食性のあるステンレス材を採用している。主要電気品、制御盤および塗料についても硫酸ミストを考慮した仕様としている。

### 3.2.4 絶縁対策

通常アノードおよびカソードの搬入・搬出作業は、電解槽に非通電の状態で行うが、電解槽の帯電などによる吊りビームへの放電現象により通電状態になることがある。電気機器の保護および感電防止を目的として、吊りビームとクレーン本体との間に十分な絶縁対策を行っている。

### 3.3 自動運転制御

本クレーンは、アノードおよびカソードのフック掛け精度の向上と、運転手の負荷を軽減すべく搬入・搬出コンベアおよび電解槽間の搬送作業を自動運転としている。

ただし、手動運転時にも位置決めなど部分的に自動運転が可能な運転アシスト機能を備えている。また、プロセスコンピュータを準備することで、将来的には地上操作による全自動運転も可能とするシステム構成としている。

### 3.4 運転室および操作パネル

運転室は、吊りビームの視認性に優れたガイドフレーム上に配置されている。運転室へは、建屋内歩道上からガイドフレーム上に設置された収納可能な昇降梯子により乗り込むことができる。

運転室内と建屋内に設置された地上操作盤には、クレーンおよび地上設備の状態の確認のみならず、各設備の配置や一連の作業の流れを示した画面上で、容易に自動運転の作業設定が可能なタッチパネルを備えている。

## 4 おわりに

- (1) 本報で解説した電解クレーンは、納入後順調に稼動中である。
  - (2) 電解プロセスにおいて電解クレーンの性能は生産性に重要な影響を与える。
- 今後も顧客のニーズを満たす製品への取組みおよびアフターサービスの充実に努め、顧客の期待に応える製品を提供していきたい。



# 製鉄所向け自動倉庫システム

## Automated Storage and Retrieval System (ASRS) for Iron Works

●長 部 洋 介\*  
Yosuke OSABE

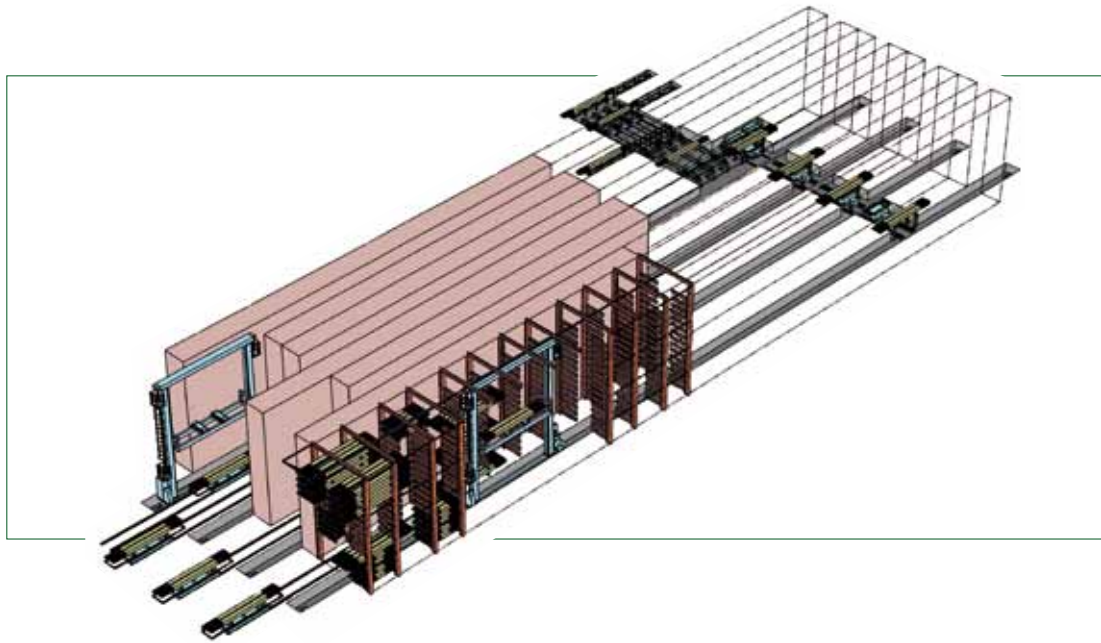


図1 システム概観  
General view of system

### 1 はじめに

近年、鉄鋼業界を取り巻く経営環境は、世界および日本経済の構造変化と、鉄鋼業の構造変化という2つの大きな構造変化に直面し、従来にも増して工場生産能力の向上および作業効率化の要求が高まってきている。保管の効率化を図る自動倉庫システム(Automated Storage and Retrieval System ASRS)に対しても単体の自動倉庫ではなく、製造ラインと直結する全自動の自動倉庫システムが導入され、保管および出荷業務の合理化が図られている。

住友重機械搬送システム株式会社(旧 住友重機械工業株式会社ロジスティクス&パーキングシステム事業部)は、これまで製鉄、製紙および印刷業界などの顧客に数多くの重量物搬送システムを納入してきており、システムの信頼性と機能において顧客から高い評価を得ている。長年培ってきた重量物搬送のノウハウと、最新の制御システム技術および計算機システム技術を融合させ、製鉄所向け自動倉庫システムとして市場に提供している。

本報では、製鉄所向け自動倉庫システムを紹介する。

### 2 鉄鋼分野における物流設備の特徴

鉄鋼分野における物流設備の特徴として次の項目があげられる。

- (1) 取扱い物(搬送物および保管物)が重量物である。  
当然のことながら、取扱い物が鉄であることにより重

量物を搬送できる設備が要求される。

- (2) 取扱い物の形状が特殊である。

一般の物流設備に比べ、取扱い物のサイズが大きく、なおかつ長尺物、巾狭物および低い荷高さなど、特殊な形状への対応が要求される。

- (3) 堅牢な設備である。

重量物を搬送する設備であるだけでなく、過酷な使用条件のもと長年にわたる使用に耐え得る耐久性の高い設備であることが要求される。

- (4) 信頼性が高い。

24時間連続操業の製造ラインを止めてはならないという使命のもとで、高レベルの信頼性を有した設備が要求される。

- (5) 安全性が高い。

取扱い物が重量物であり、万が一、不慮の事故が発生した場合には重大な災害に通じることから、その安全性については高次元のものが要求される。

- (6) 非常時の対応手段が必須である。

設備故障などの非常時においても24時間連続操業の製造ラインを止めることがないように、代替搬送ルートなどの非常時対応手段を設けることが要求される。

- (7) シミュレーションでの検証が必要である。

「製造ラインを止めない」、「トラックを待たせない」などを検証すべく、物流設備の中核となる自動倉庫だけでなく前後の設備を含めた、シミュレーションでの検証



図2 コイル用自動倉庫  
ASRS for coil

が要求される。

### 3 製鉄所向け自動倉庫システムの特長

図1に、製鉄所向け自動倉庫システムの概観を、システムの特長を次に示す。

#### 3.1 搬送設備

自動倉庫はスタッククレーンと棚で構成されている。スタッククレーンは、棒鋼を2束同時に搬送することにより高能力を実現した。また、ダブルリーチ式スタッククレーンを採用することにより、1棚に4束保管し、高い格納効率を得た。棚構造はキャンチレバー方式を採用することにより、より多くの段数を確保し、高さ方向に対しても高い格納効率を得た。

#### 3.2 計算機システム

製造ラインに直結したコンベヤからランダムに流れてくる棒鋼を、同一ラインごとに2束荷揃えを行う機能を入庫設備にて実現した。

4束保管棚に対して、1束出庫、2束出庫および奥棚自動配替機能を有する自由度の高い自動倉庫システムであり、トラック積載順序を考慮して自動倉庫出庫順序をコントロールし、出荷業務の合理化を実現した。

また、ピッキング出庫時に、どの棒鋼をピッキングするかオペレータへ指示する表示器を設置した。さらに、ピッキング作業時にピッキングミスがないかを自動的にチェックする機能を搭載することにより、誤出荷の防止を可能にした。

再入庫品の自動積合わせ機能、補充入庫および集約入庫機能を実現することで自動倉庫の格納効率向上を図った。

### 4 製鉄所向け自動倉庫システムの導入効果

従来は、その格納物の特殊性から天井クレーンによる平置き保管および手動入出庫が通常とされてきたが、製造ラインと直結する全自動の自動倉庫システムの導入により、

- ・ 保管量の大幅増加
- ・ 入庫・出庫能力の向上
- ・ 作業人員の削減
- ・ 出荷リードタイムの短縮
- ・ 正確な在庫管理
- ・ 誤出荷の防止



図3 長尺用自動倉庫  
ASRS for long item

- ・ 作業者の軽労化および作業環境の改善
- ・ 安全性の向上
- ・ 製品の品質確保

を実現した。図2にコイル用自動倉庫、図3に長尺用自動倉庫を示す。

### 5 おわりに

住友重機械搬送システムでは、これまで培ってきた豊富な重量物ハンドリング技術により、顧客の要望に応えられる最適な製鉄所向け自動倉庫システムを提供している。その特長は次の通りである。

- (1) 製造ライン直結の自動倉庫システムの導入により、入庫能力の向上、作業者の削減、軽労化、作業環境の改善および安全性の確保を実現した。
- (2) タブルリーチ式スタッククレーンとキャンチレバー式格納棚の採用により、従来の平置き保管に比べ高い格納効率を実現した。
- (3) トラック積載順序を考慮し自動倉庫出庫順序をコントロールすることにより、出庫能力の向上および出荷業務の合理化を実現した。
- (4) ピッキング表示器を設置し、さらに、チェック機能を搭載することにより、誤出荷の防止を実現した。

ますます高度化・高機能化し多様化する顧客のニーズに応え、今後とも満足して頂ける商品を提供していく所存である。

# 高速入替え対面ピッキング自動倉庫の開発

## Development of a High-speed Exchange Picking ASRS

●大柴 茂\* 河野 龍太\*  
Shigeru OSHIBA Ryuta KOHNO



高速入替えスミバック  
Rapid exchange SUMIBAQ

### 1 はじめに

近年、通販業界においては、販売媒体がカタログからWEBに移行することにより、取り扱う商品の種類が増える傾向にある。また、サービス向上の一貫として注文当日出荷・翌日配送実現に向けた要望も多く、多彩な商品を格納可能で仕分け機能を併せ持つ高能力な自動倉庫システム (Automated Storage and Retrieval System ASRS)が必要になっている。

このようなニーズに応えるべく、商品コンテナを上段のリザーブ棚から下段のピッキング用フェイス棚へ高速に入替えが可能な対面ピッキング自動倉庫を開発した。

### 2 主要仕様と特長

#### 2.1 主要仕様

- ・商品コンテナ入替え時間 28秒(1コンテナをリザーブ棚からフェイス棚へ繰り返し入替えるのに必要なサイクルタイムで、図1の①から④の動作時間に相当)
- ・制御方式 4軸コントローラユニットによるサーボ制御方式で、走行および昇降は制振制御対応

- ・通信方式 Ethernetとソケット通信を用いた新方式
- ・取扱い物 樹脂製コンテナ 650×440×350mm  
最大30kg×2個

#### 2.2 特長

##### (1) 繰返し棚間移動

昇降台にコンテナ移載用の2つのシャトル装置とコンテナ位置を矯正する位置決め装置を配置し、コンテナの位置ズレを矯正することで、コンテナの棚間移動を際限なく繰り返すことができる方式とした(特許出願中)。

##### (2) 高機能な制振制御

走行、昇降、シャトル×2の駆動系4軸にサーボモータを採用し、加減速時に発生するクレーンの揺れを制振制御(走行、昇降)で抑制した。このことから速度と加減速度の大きな台形状の理想的な速度カーブを実現し、移載の待ち時間ゼロを達成した。

##### (3) 新通信システム

Ethernetとソケット通信を用いた新通信システムを採用し、繰返し棚間移動が連続して発生する入替え動作において、通信処理時間とプログラム処理時間を大幅に削

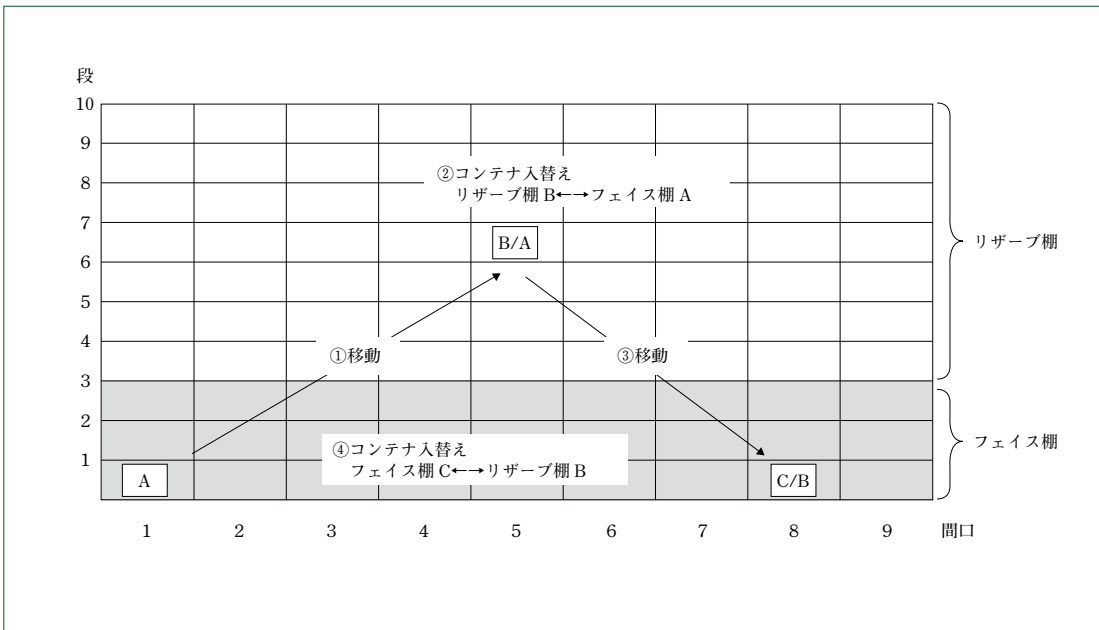


図1 入替え動作フロー  
Flow of exchange motion

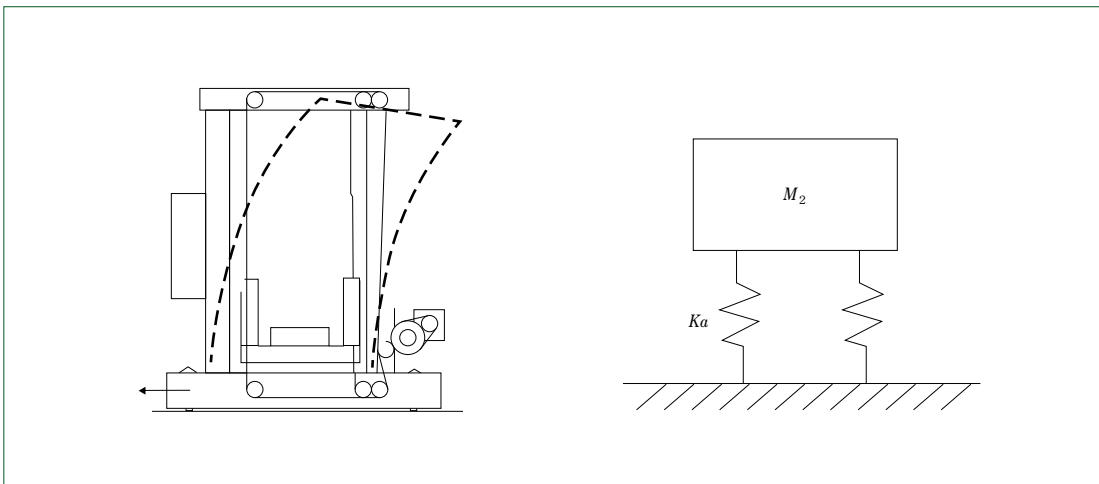


図2 マスト上部振動模式図  
Mimetic diagram of mast top vibration

減した(特許出願中)。

(4) 高防振・高剛性なシムレス方式レール

ベース防振ゴムで支持したクレーンの走行レールベース下部にケミカルアンカー樹脂を充填するシムレス方式を採用することで、スタッカクレーンの高速化に伴う振動対策と併せて低コストを実現した(特許出願中)。

本システムでは、商品コンテナ入替え時間28秒という高速のサイクルタイムを実現すべく、特長(1)~(4)に示す対策を実施した。

### 3 スタッカクレーンの振動抑制機能

#### 3.1 制振制御

スタッカクレーンは、走行レール上を前後方向に荷物を搬送する走行軸、2本のマストをガイドとして上下方向に荷物を搬送する昇降軸および走行方向に対して左右方向に荷物を

搬送するシャトル軸を有している。スタッカクレーンは重心が高いことから、走行時にはマストに走行方向の揺れが発生する。マストが振動すると、昇降台位置の整定待ちとなり位置決めにかかる時間が延び、サイクルタイムに影響を及ぼす。また、振動により昇降台上の荷物がズレる可能性もあり、棚に対する移載精度が悪化する。そこでマストの振れを抑制し、荷物に負荷をかけない高機能な制振制御が必要となる。

図2に、走行時のマスト上部振動の簡易模式図を示す。1次モードとして顕著に現れる振動の主要因はマストのばね要素である。台車(下部フレーム類、上部フレーム類)とマストがリジットに結合している単純な片持ち梁モデルにてばね定数 $Ka$ を求め、マスト固有振動数を求めた。図3に、スタッカクレーン走行軸の簡易2慣性振動系モデルを示す<sup>(1)</sup>。

$M_1$ は台車下部重量、 $M_2$ は台車上部重量、 $Ka$ はマストばね定数である。ここで、 $\omega_r$ を台車下部の共振周波数、 $\omega_a$ を台

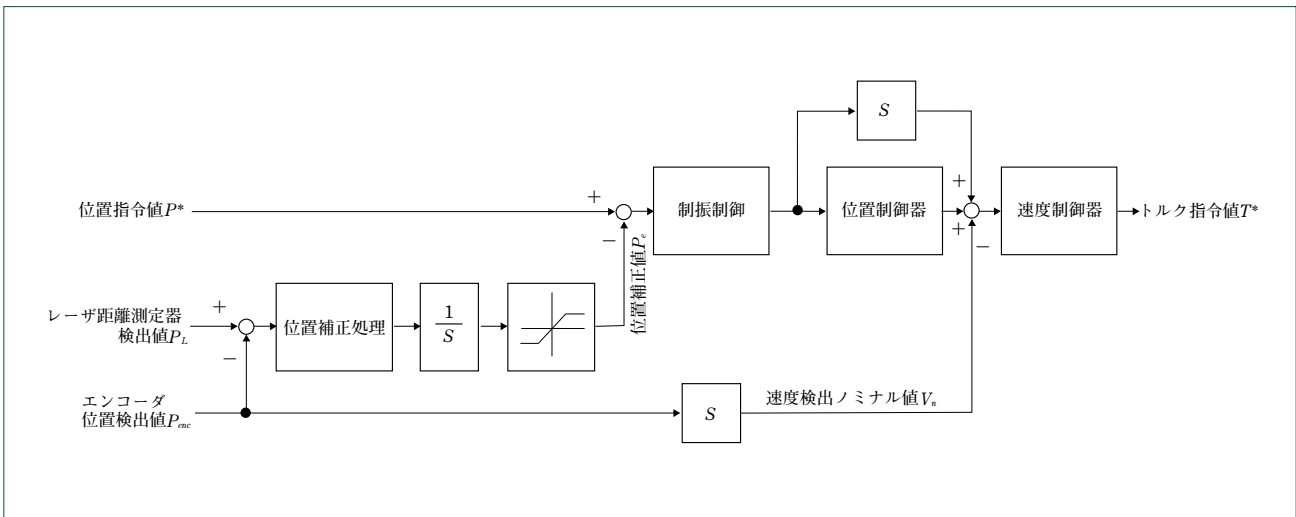


図3 位置補正制御構成図  
Position compensation control diagram

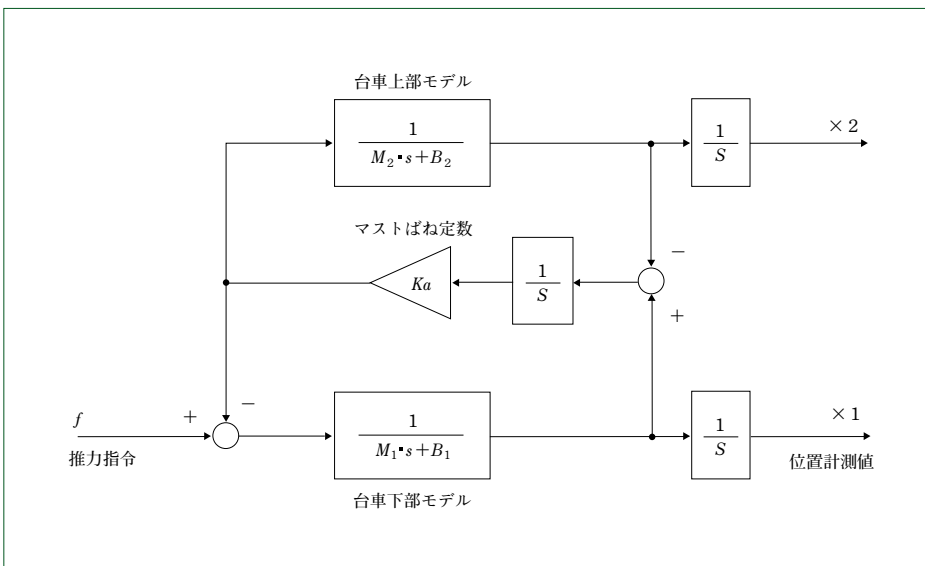


図4 スタッククレーン走行2慣性モデル  
2-inertia model of stacker crane

車下部の反共振周波数(台車上部の共振周波数)とすると、反共振周波数 $\omega_a$ は、走行台車下部(サドル+走行駆動部ほか)と連結するマストの固有振動数により決定される。台車上部の振動を抑制するには、反共振周波数 $\omega_a$ を抑える必要があり、本システムでは位置指令の位相を補正することで2慣性モデルの制振制御を実現した。

### 3.2 位置補正機能

昇降軸はチェーン駆動なので伸び、走行軸は車輪駆動であることからタイヤの減りによる経年変化が発生する。したがって、モータ軸のエンコーダだけでは高精度な位置精度を達成できないことから、絶対位置のセンサとして高精度レーザ距離測定器を実装した。一般的にレーザ距離測定器は応答が遅く、レーザ距離測定器をアウトターにしたフルクロードループにすると位相遅れにより発振してしまう。

そこで図3のようにモータエンコーダによる位置クローズドループとし、レーザ距離測定器による検出値にて補正をか

ける方式とした。また、位置制御の前に図4で示す2慣性モデルの制振制御処理を追加し、さらに応答性を上げる目的で位置指令の疑似微分値を速度指令に加算するフィードフォワード処理を追加した。

### 3.3 制振制御・位置補正の効果確認

実機への実装の前にシミュレーションモデルを構築し、制振フィルタ機能の確認を実施した。実機動作パターン(台形速度5.0m/s、加減速度1.0m/s<sup>2</sup>)をシステムの入力とした際の台車上部の速応性と振動振幅を比較確認した。制振フィルタなしの場合と制振フィルタありの場合の目標位置完了時の波形をそれぞれ図5および図6に示す。

評価モデル位置指令値に対する速応性は維持しつつ、振動振幅は1/5程度に改善しており、モデル固有振動数と反共振周波数パラメータを一致させることにより制振効果が得られることが確認できた。

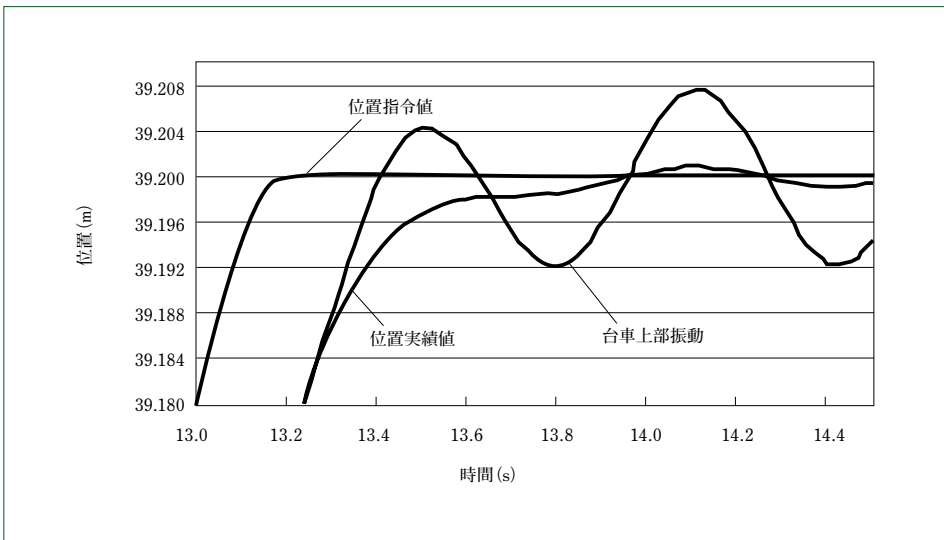


図5 制振フィルタなしの位置応答波形  
Response waveform by position control without vibration suppression filter

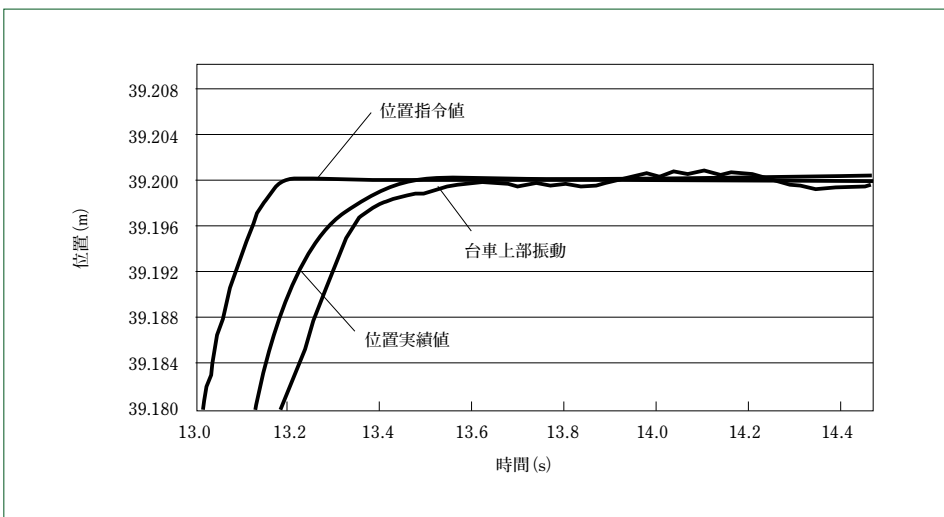


図6 制振フィルタありの位置応答波形  
Response waveform by position control with vibration suppression filter

## 4 おわりに

高速入替え対面ピッキング自動倉庫では次の顧客要求を実現している。なお、本技術は一般自動倉庫システムにも水平展開が可能である。

- (1) 繰返し棚間移動、高機能な制振制御および新通信システムの実現により、サイクルタイムを大幅に短縮できた。
- (2) 防振型シムレス方式レールベースの採用により、高速化に伴う振動や騒音の発生を防止するとともに低コストを実現した。

今後も、ますます多様化する顧客ニーズに対応した製品開発に努める所存である。

### (参考文献)

- (1)堀, PID制御のみによる2慣性系の制御, 平成6年電気学会全国大会, No670, 1994.

※「スミバック」および「SUMIBAQ」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

# 新型バッテリー式フォークリフト FB0.9t-3.0t

## New Battery Forklift FB0.9t-3.0t



新型バッテリー式フォークリフトFB0.9t-3.0tは、エンジン車と同等のパワーと安定性をセールスポイントとしている現行機種をマイナーチェンジしたものである。

従来の安定性はそのままに、バッテリーの48V化やコントローラの変更により信頼性を向上させた。また業界トップクラスの走行および荷役性能を維持するとともに、ワイドタイプのマスト採用により広い視界を確保し作業性も改善している。

### 主要仕様

FB1.5t(シンプレックスマスト 3.0m付き)

定格荷重	1500kg
揚高	3000mm
走行速度(無負荷時)	15km/h
走行速度(全負荷時)	13.5km/h
上昇速度(無負荷時)	635mm/s
上昇速度(全負荷時)	450mm/s
最小旋回半径	1795mm
全長(フォーク付き)	3000mm
全幅	1100mm
ヘッドガード高さ	2090mm
ホイールベース	1380mm
車両重量	2945kg
制御方式	インバータ
電動機	誘導電動機
バッテリー	48V×390Ah
充電器	準定電圧方式

### 特長

#### (1) 作業性・操作性

エンジン車のマストとトレイルアクスルを採用し、視界の向上とタイヤ切れ角アップによる旋回半径の縮小を実施した。またオービットロールの流量を増加することにより、ステアリングの回転数を少なくし操作性を改善した。さらに倉庫内の高所荷役作業に有効なキャリアジライトなどをオプション設定し、作業性を向上させた。

#### (2) 安全性

運転者がシートに座っていない場合は、誤作動を防ぐべく走行および荷役作業を禁止する走行・荷役インターロックを標準装備とした。また、リリースボタン付きパーキングレバーも採用し、安全性に配慮した。

#### (3) 信頼性

実績のある金属基板コントローラを採用することにより、信頼性を向上させた。また、過放電を防止する機能や自動補水(オプション)によりバッテリーを保護し、長寿命化を実現した。

新型リーチ式フォークリフトで設定したディスプレイやLEDライトなどのオプションを採用し、マストやトレイルアクスルをエンジン車と共通化することにより、信頼性を確保し、部品点数の削減および機種間での部品の互換性を実現した。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 村上 智)

# 通販向け小物仕分け装置

## Assorting Equipment for Mail-order Small-size Wares



近年通販業界においては、販売媒体がカタログからWEBに移行することにより、取り扱う商品の種類が増える傾向にある。また、サービス向上の一貫として注文当日出荷・翌日配送の実現に向けた要望も多く、商品を選ばない高能力な仕分けシステムが必要になっている。

このようなニーズに応えるべく、多彩な商品に対応できる自動仕分け機用高速2次配分装置を開発した。

従来の仕分け装置においては、保管エリアから集約ピックアップした商品を顧客別に仕分ける際、シュートと呼ばれる顧客別の投入口に商品を自由落下させていたが、次のような問題があった。

- ・易損品においては、商品を破損させる可能性があることから機械による自動仕分けができない。
- ・高能力の仕分けを行うには、シュートの本数を増やす必要があり、設置スペースや設備コストが大きくなる。

本装置は、仕分け機のシュート末端に配置され、不定形なアパレル商品だけでなく、薄物・箱物・易損品など多様な商品を高速にかつ優しく複数のコンテナに2次配分することができる。本装置を仕分け機と組み合わせることにより、高能力・省スペースかつ低価格な仕分けシステムを構築できる。

### 主要仕様

荷サイズ	60(W)×60(L)×5(H)mm～ 450(W)×600(L)×150(H)mm
荷重	最大5kg
商品投入サイクル	平均6.7秒

### 特長

- (1) 商品に優しい荷の取扱い
  - ・箱物や易損品の払出し動作を、投入機コンベアにて荷を払い出しながら同速度でコンベア本体を引き込むことにより、荷に対する相対速度をゼロ化(特許出願中)した。
  - ・傾転とコンベア伸縮により、商品投入高さを最小化した。
  - ・サーボ制御により、加減速度を最適化した。
  - ・払出しコンテナ内の商品を検出し、商品を潰さないように投入高さを可変化した。
- (2) 高速配分
  - サーボ制御により、作業時間の高速化(投入サイクル平均6.7秒)を実現した。
- (3) 低価格
  - 従来の1客/1シュート仕分けを10客/1シュートで仕分けた後、高速配分機1台で1客ごとに2次配分することにより従来価格の約3割ダウンを実現した。
- (4) メンテナンスフリー
  - 誰でもメンテナンスが可能になるように、構造を簡易化し、無給脂化した。

(住友重機械搬送システム株式会社 日野克美)



# 小規模下水処理向け縦軸型曝気攪拌装置 スミレーターⅡ

## Vertical Type Aerators “SUMIRATOR II” for Small-scale Sewage Treatment Plant

●鈴木 茂\*  
Shigeru SUZUKI

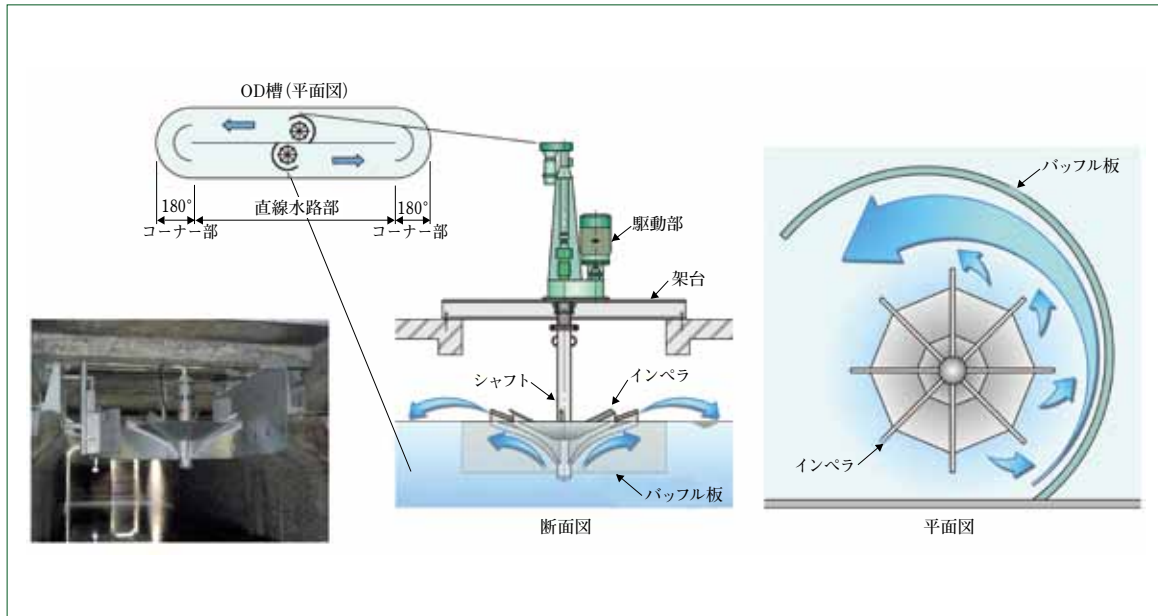


図1 縦軸型曝気装置スミレーターⅡの構造と原理  
Configuration and principle of vertical type aerators “SUMIRATOR II”

日本の小規模下水処理施設における無終端水路オキシデーションディッチ(OD)槽の生物処理反応タンクでは、表面曝気による酸素供給と均一攪拌を行う曝気攪拌装置が使用されている。近年では、省エネルギー性とメンテナンス性に優れ、窒素除去も容易な縦軸型が多く採用されているが、古い施設では旧式の横軸型曝気攪拌装置の採用事例が多い。老朽化した横軸型を縦軸型に更新する場合、装置設置場所が異なることから、土木躯体の大幅な改造が必要となり、それに伴うコストの上昇が問題となっている。この問題を解決すべく、従来の縦軸型曝気装置を改良して、横軸型曝気装置の更新に適用できる縦軸型曝気攪拌装置 スミレーターⅡを開発した。

本報では、スミレーターⅡを実下水処理場に設置して1年間実施した実負荷試験で、優れた曝気・攪拌性能と安定した水処理性能を確認したので報告する。

Surface aeration equipment that supplies O<sub>2</sub> and enables homogeneous mixing is commonly used for biological treatment in a non-terminal aeration tank with the oxidation ditch in small-size sewage treatment plants. In recent years, due to its energy efficiency, easy-maintenance and nitrogen removal readiness, a vertical type aerator is often preferred to be installed, whereas an outdated horizontal type aerator is operating in many old plants. Replacing the superannuated horizontal type equipment with the vertical one would require a major change of building structure, because installed positions of each aerator differ, and it results a high cost. To address this issue, by modifying a conventional vertical type aerator, SUMIRATOR, we have developed a new vertical type aerator, “SUMIRATOR II”, which can be installed in the same position as the horizontal one. This paper reports that the on-site loading test on SUMIRATOR II for a year has confirmed its efficiency of aeration and mixing, and its stable sewage treatment.

### 1 まえがき

日本の小規模下水処理施設では、無終端水路OD槽という生物処理反応タンクが主流で、表面曝気による酸素供給と均一攪拌を行う曝気攪拌装置が使用されている。曝気攪拌装置には、横軸型(斜軸型を含む)および縦軸型があり、古い施設には横軸型が、新しい施設には省エネルギー性とメンテナンス性に優れ、窒素除去も容易な縦軸型が多く採用されている。

住友重機械エンバイロメント株式会社は、縦軸型曝気攪拌装置 スミレーターにおいて1000台以上の納入実績がある。

しかし、この2つのタイプは攪拌特性によりOD槽での設置場所が異なり、OD槽の構造も多少異なる。このことから、老朽化した横軸型を更新する場合、多くの利点がある縦軸型の導入が検討されるが、OD槽の大幅な改造が必要となるなどの課題があった。

この問題を解決すべく、従来の縦軸型曝気攪拌装置を改良

表1 従来のOD槽用機械式曝気装置  
Conventional aerators for oxidation ditch channels (OD)

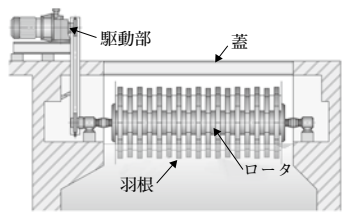

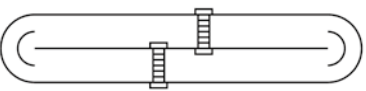
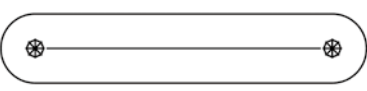
	横軸型機械式曝気装置	縦軸型機械式曝気装置(スミレーター)
曝気装置の概要		
供給動力	△	○
酸素供給量制御性	△	○
維持管理性	△	○
反応タンクでの曝気装置設置場所		
	直線水路	180° コーナー部

表2 試験設備の仕様  
Specifications of testing aerator

項目	比較対象OD槽	試験対象OD槽	
最大下水量	1150m <sup>3</sup> /日		
OD水路	寸法:4.0m(W)×120m(L)×2.5m(H) 容量:1150m <sup>3</sup>		
曝気方式	表面曝気方式		
台数	2台/水路		
機 器	形式	既設横軸型	縦軸型(インペラ昇降機能付き)
	材質	SUS304	SUS304
	回転数	66r/min	(低速)14.8~(高速)46.1r/min
	寸法	φ1.065m×2.55mL	φ1.9m
駆動装置	電動機	15kW/台	15kW/台(曝気攪拌用) 0.4kW/台(昇降用)
	制御方式	ON/OFF制御	回転数制御
駆動方式	チェーン駆動	駆動軸直結	
バッフル板(整流板)	平板形状	円形特殊形状	
運転方法	間欠(ON/OFF)	間欠曝気(高速/水没低速)	

し、横軸型曝気攪拌装置の更新に適用できる縦軸型を新しく開発した。

本報では、新たな縦軸型曝気攪拌装置 スミレーターIIの実下水処理場における性能を報告する。

## 2 システムの概要

OD法は、曝気攪拌装置を有する無終端水路を生物反応タンクにして、低負荷で活性汚泥処理をする水処理方法である。一般的なOD槽反応タンクの仕様は、池幅4~6m、池深2~3m、滞留時間24hrである。

表1に、従来のOD槽用曝気攪拌装置を示す。

横軸型曝気攪拌装置は、横軸回転軸に羽をつけたロータにより水表面を攪拌する表面曝気装置である。横軸型は、供給動力が大きい、回転数を調整して酸素供給量を制御することが難しい、運転管理コストも高いなど課題が多い。直線水路部に設置している横軸型のOD槽には水路コーナー部に整流壁があり、このコーナー部に設置する縦軸型の採用には整流壁の撤去などが必要になり、コストの上昇につながる。

## 3 装置の概要

### 3.1 構造

本装置は、図1に示すように駆動部、シャフト、インペラおよび特殊形状のバッフル板で構成されている。インペラには上面翼と下面翼があり、上面翼は水を水面上に飛散させて酸素供給する曝気機能を、下面翼は水中で水を放散させて攪拌する機能を有している。

従来の曝気攪拌装置を水路コーナー部に設置するのはこの下面翼による攪拌機能を水路循環流に変換することを目的とする。

しかし、これを直線水路部に設置すると、下面翼による放散流をうまく水路循環流に変えることができないので、この放散流を集約して下流方向への強い流れに変換する特殊形状のバッフル板が必要になる。この形状は、流体シミュレーションと試験水槽での実測により新しく開発した。

### 3.2 原理

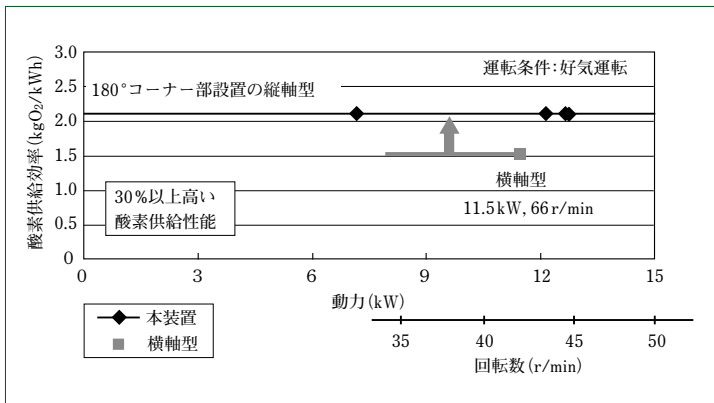
#### (1) 曝気

インペラを回転させると上面翼によって水面上に飛散

**表3** 試験項目と試験条件  
Examination items and conditions

試験項目	評価項目	目標	測定項目	測定試験実施試験		試験条件	備考
				清水試験	実負荷試験		
省エネルギー性	酸素供給効率	2.1 kgO <sub>2</sub> /kWh (飛沫飛散領域制約を考慮)	酸素供給量	○		好気運転 インペラ位置: 水面 インペラ回転数: 46.1 r/min (高速)	
			動力	○			
攪拌性	底部流速	無酸素攪拌運転時の 底部流速が0.1 m/s以上	底部流速	○		無酸素運転 インペラ位置: 水面下-300 mm (水没) インペラ回転数: 14.8 r/min (低速)	
	MLSS濃度*分布	MLSS濃度が均一であること。	MLSS濃度		○		
水処理性	処理水質	BOD, SS, 窒素: 10 mg/L以下	BOD, SS, 窒素		○	間欠曝気運転 (4時間サイクル)	表4

※OD槽内の固形物



**図2** 動力に対する曝気性能特性  
Measurements of aeration performance

領域ができる。その飛散領域と酸素供給性能とは相関関係があるので、飛散領域の障害にならないようにバップル板の高さを設定している。これによって、従来の縦軸型と同様の優れた曝気性能が維持できる。

(2) 攪拌

下面翼は、インペラを回転させることにより水中底部からの上昇流を強い放射状の水平流に変換している。下面翼によって作られるこの水平流を特殊形状のバップル板で捕捉し、効率良く下流側へ徐々に向きを変えることでOD槽内に水路循環流を発生させている(図1右)。これによって、水路螺旋流が形成され、所定の底部流速が確保され、均一攪拌ができる。

## 4 試験

本装置の性能評価を行うべく、実下水処理場において1年間にわたり実証試験を実施した。次に試験条件を示す。

### 4.1 試験設備

表2に、試験設備の仕様を示す。インペラ径は1.9m、動力は15kWである。比較対象は、本装置へ置き換える前の既設横軸型曝気装置とした。

### 4.2 試験条件

表3に、試験項目と試験条件を示す。省エネルギー性、攪拌性および水処理性について評価を行った。

## 5 試験結果

### 5.1 省エネルギー性

図2に、本装置を実下水処理場OD槽へ設置して実施した

**表4** 間欠曝気運転条件  
Operating conditions

項目	インペラ条件		運転時間(hr)
	回転数(r/min)	回転位置	
好気運転	46.1	水面	1.3~2.0
無酸素運転	14.8	水没	2.7~2.0
運転サイクル	自動回転数, 昇降制御		4.0

酸素供給効率(装置1台、駆動部軸動力当たりの酸素供給量)測定試験結果を示す。得られた値は2.1kgO<sub>2</sub>/kWhで、180°コーナー部に設置するこれまでの縦軸型曝気攪拌装置と同等で、高い酸素溶解性能を有していることを確認した。同じ場所で本装置設置前に測定した既設横軸型の酸素供給効率(1.55kgO<sub>2</sub>/kWh)と比較すると、30%以上高性能であった。

横軸型から縦軸型へ更新することにより、大幅な省エネルギー化が可能であると考えられる。

### 5.2 優れた攪拌性

図3に、実下水処理場における底部流速測定結果を示す。この測定結果は、装置2台を低速回転させたOD槽内を攪拌するうえで最も厳しい条件下のものであるが、OD槽底部に汚泥が堆積しない目安である0.1m/sを大幅に上回る結果であった。また、実負荷試験実施時に測定したOD槽内混合液中の懸濁物質(MLSS)も均一で、底部に汚泥が堆積していないことも確認できた。これらのことから、本装置は優れた攪拌性能を安定して維持できることが検証できたとと言える。

### 5.3 長期安定運転性

図4に、本装置を設置したOD槽で1年間にわたり実施した実負荷試験における水処理性能(処理水質)の経時特性を示す。下水中に含まれる水質汚濁物質の指標であるBOD(生物学的酸素要求量)、SS(懸濁物質)および窒素の平均流入水質は、200mg/L、150mg/L、35mg/Lであるが、除去率は1年を通じてBODおよびSSが95%以上、窒素は85%以上となり、一般的な目標処理水質である10mg/Lをそれぞれ大幅に下回る好結果が得られた。

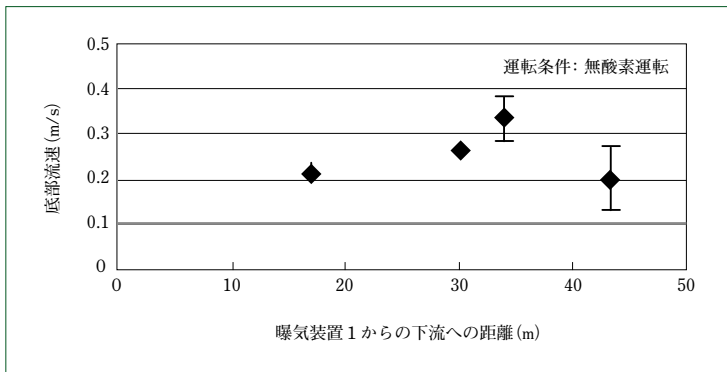


図3 底部流速特性  
Profile of bottom velocity

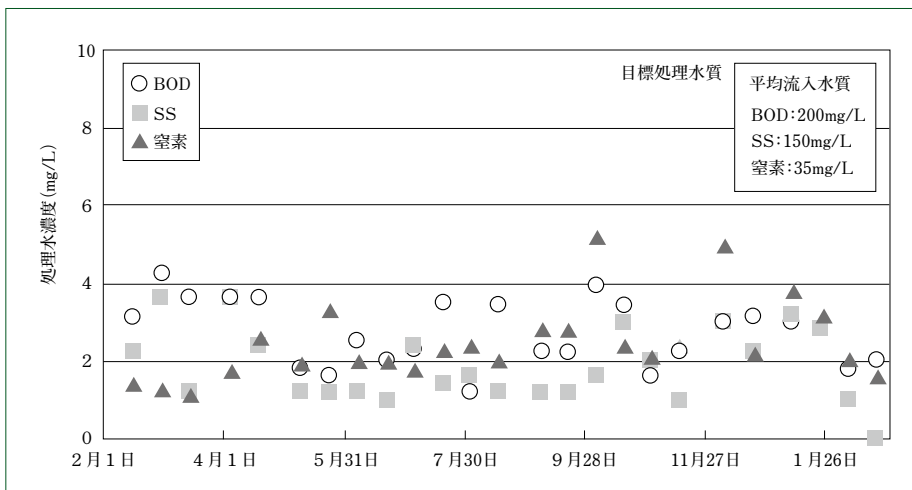


図4 処理水質の経時特性  
Long-term trend of effluent quality

## 6 むすび

- (1) 酸素供給効率は $2.1 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ で、既設横軸型よりも30%以上高いことから、横軸型から本装置へ更新することで、大幅な省エネルギーが可能となる。
- (2) OD槽内を攪拌するうえで最も厳しい条件でも、底部流速は汚泥が堆積しない目安となる $0.1 \text{ m/s}$ を大幅に上回っており、優れた攪拌性能を有していることを確認した。
- (3) 1年間にわたる実負荷試験における水処理性能は安定しており、一般的な目標処理水質である $10 \text{ mg/L}$ を大幅に下回る好結果を得ることができた。

本報で示した試験結果が評価され、これまで多数の受注実績を得ることができた。今後は、本装置を下水処理場水処理設備の地球温暖化防止対策や省エネルギー対策に貢献させるべく、拡販に注力していく所存である。

本報で示した試験結果は、喜多方浄化センターにおける実証試験結果をまとめたものである。実証試験期間中に、さまざまなアドバイスとご協力をいただいた、喜多方市建設部下水道課、株式会社ウォーターエージェンシー喜多方事業所の皆様に心から感謝申し上げます。

※「スミレーター」は、住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。

# くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション

## 第2報 発熱・伝熱を考慮した温間加工解析への適用

Rotating Plastic Forming Simulation Using Renormalization Molecular Dynamics  
Part2 Considering generation of heat and heat conduction for warm forming

●大西良孝\* 檜垣孝二\*\* 市嶋大路\* 広瀬良太\*  
Yoshitaka OHNISHI Koji HIGAKI Daiji ICHISHIMA Ryota HIROSE



日本スピンドル製造株式会社製 フローフォーミングマシン VARIFOMA  
FLOW FORMING MACHINE VARIFOMA and simulation result

我々は、くりこみ群分子動力学法(Renormalization Molecular Dynamics RMD)を用いた塑性加工シミュレーションにより、従来手法では困難であった金属めくれ込み現象を再現し、さらに送り速度を上げることで、めくれ込み量を減らせることを報告した<sup>(1)(2)</sup>。しかしながら、加工時の温度上昇や温度による物性の変化などは考慮されておらず、冷間・温間加工条件の違いを再現できないという問題があった。本報ではRMDを用いた塑性加工シミュレータへ加工時の摩擦による発熱エネルギーの発生、温度上昇、熱伝導および温度による物性変化を定量的に評価しうる機能を追加し、高精度なシミュレータの開発を行った。シミュレータを回転加工マシンに適用したところ、加工時に発生する反力の最大値を5%以内の誤差で再現できた。また、加工時の温度上昇は20K程度であり、これも加工時の実現象と矛盾しないことを確認した。

We reported that a simulation of the rotating plastic forming using Renormalization Molecular Dynamics (RMD) method reproduced metal-curling phenomenon, which had ever been hardly reproduced by other conventional methods, and alleviated the degree of curling by raising the feed speed. Due to the fact, however, that the RMD method didn't consider such factors as heat-up generated by friction at the time of the plastic forming and change of physical property by temperature, the method couldn't reproduce the difference between cold-working and warm-working, which is another issue to work on. This paper reports that we have developed highly precise simulator by adding a function to a simulation of the rotating plastic forming using the RMD method to make it possible to quantitatively assess exothermic energy caused by friction, temperature rise, heat conduction and change of physical property. The simulator, applied to a rotary forming machine has reproduced the maximum reaction force caused at the time of the forming with a discrepancy of less than 5%. In addition, the temperature rise was around 20K, and it has been confirmed that the figure does not contradict with the actual phenomenon of the forming.

### 1 まえがき

回転塑性加工において積極的に板厚を変化させ、さまざまな形状に変化させる加工がフローフォーミングであり、材料と加工後の形状および材料とローラーの回転軸の角度などに

より加工種類は多様である。このうち今回モデルとしているのが、増肉加工というもので、円盤形の材料を両側から金型で挟み込み、溝形状を有する加工ローラーを押し込んで、材料の先端を矩形に増肉するという加工である(図1)。日本スピンドル製造株式会社では、フローフォーミングマシンを製

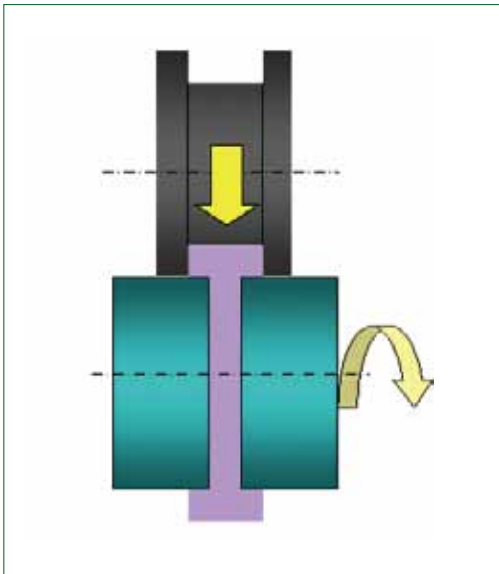


図1 増肉加工  
Rotating plastic forming

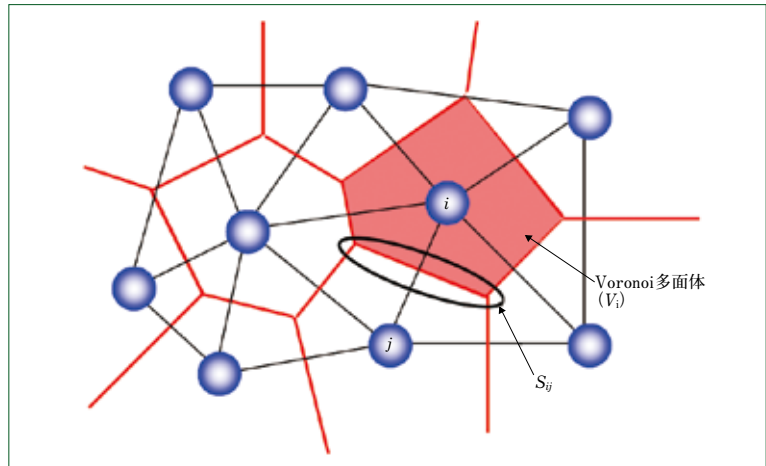


図2 Voronoi多面体解析  
Analysis of Voronoi polyhedral structure

造・販売するほか、各種のフローフォーミング加工の試作テストも受託している。

我々は前報<sup>1)</sup>において、RMDを用いた増肉加工シミュレーションを実施し、その結果、従来法では再現不可能であった金属がめくれ込む現象を再現することに成功した。また、送り速度を速くすることで、金属のめくれ込み量が減ることも分かった。このことは、実機現象でも確認されている。さらに摩擦による加工時の発熱エネルギー、温度上昇、自由電子の影響を考慮した熱伝導および温度による材料の物性変化を定量的に評価し得る高精度なシミュレータへと格上げを試みた。

本報では、これら熱的現象の導入方法と、実際にシミュレーションを行った結果について述べる。

## 2 金属の熱伝導の再現

分子動力学法における熱伝導は、原子の格子振動による伝播のみであり、自由電子の効果を直接的に取り扱うことができない。このことから実際の金属材料と比べても熱伝導率は100分の1程度となり<sup>3)</sup>、定量評価には耐えられない。そこで格子振動の効果に加え、連続体近似の手法と組み合わせた新しい熱伝導のモデルを開発した<sup>4)</sup>。

熱伝導方程式とLangevin法の連成を次に示す。

### 2.1 熱伝導方程式

粒子に温度のパラメータを持たせ、式(1)の熱伝導方程式を解く。

$$\rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot [K \nabla T] + \dot{Q} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\rho$ は密度、 $C_v$ は定積比熱、 $T$ は温度、 $t$ は時間、 $K$ は熱伝導率、 $Q$ は単位体積当たりの発熱量である。

(1)式の両辺を体積積分すると、

$$\rho \int_v C_v \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int_v \nabla \cdot [K \nabla T] dV + \int_v \dot{Q} dV \quad \dots\dots\dots (2)$$

右辺第1項にGaussの定理を適用すると

$$\rho \int_v C_v \frac{\partial T}{\partial t} dV = \int_s [K \nabla T] \cdot dS + \int_v \dot{Q} dV \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3)式を離散化すると

$$\rho C_v \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \Delta V_i = \sum_j \Delta S_{ij} K_{ij} \frac{T_j^n - T_i^n}{r_{ij}} + \dot{Q} \Delta V_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $\Delta V_i$ は図2のVoronoi多面体の体積、 $\Delta S_{ij}$ は原子*i*と*j*の間にあるVoronoi面の面積、 $r_{ij}$ は原子*i*および*j*間の距離により求められる。これにより、すべての原子の温度を決定することが可能となる。しかしながら、このままでは粒子の持つ温度のパラメータ*T<sub>i</sub>*と、本来の温度の定義である粒子の速度の分散とが、まったく異なった値を持つことになり、矛盾が生じる。そこで、粒子*i*に温度*T<sub>i</sub>*相当の運動エネルギーを持たせることを考える。このとき、たとえば温度スケールリング<sup>5)</sup>などで粒子の速度を強制的に変更することもできるが、運動が拘束されることにつながるため非物理的である。粒子をある温度場に自然なかたちで導くには、一定温度*T<sub>i</sub>*の熱浴に浸すことを考えればよい。これにはLangevin法<sup>6)</sup>を用いる。

### 2.2 Langevin法

減衰定数  $\alpha$  を定義する。これは熱浴の粘性に相当するもので、デバイ周波数  $\omega_D$  と質量  $m$  を用いて

$$\alpha = \frac{m \pi \omega_D}{6} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表せられる。

粒子にランダム力を与える。これは熱浴中の粒子が衝突する力に相当する。ランダム力は、

$$\sigma = \sqrt{\frac{2\alpha K T_i}{\Delta t}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

の標準偏差  $\sigma$  を持つ。

(5)、(6)式のダンパおよびランダム力を粒子に加えることにより、熱浴中流体からの相互作用を模擬できる。

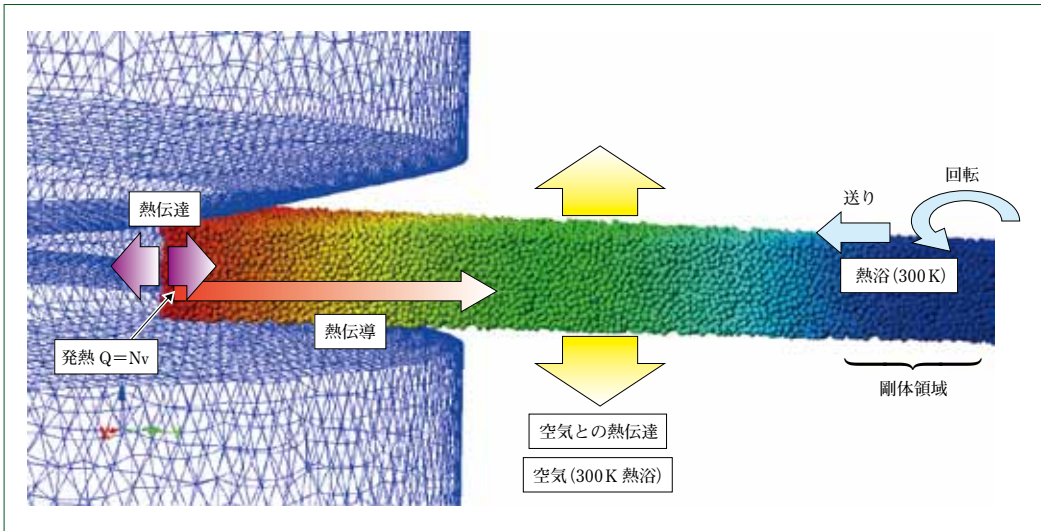


図3 シミュレーションモデル  
Simulation model

### 3 塑性加工シミュレーションの実施と結果

#### 3.1 温度場を考慮した速度相似則

計算効率の観点から、実際の回転速度より速い回転速度でシミュレーションを行いたい。しかし、単純に速度を上げるだけでは現象が変わってしまうことから、速度の増分に応じた相似則を導入する必要がある。次に、回転速度を実際の  $\alpha$  倍とした場合の相似則について述べる。

##### 3.1.1 発熱の相似則

実現象の周期が  $T$  であるとすると、相似則を用いれば周期は  $T/\alpha$  となる。すると 1 周期当たりの発熱量は、

$$\int_0^{T/\alpha} Q dt = \mu N \cdot r(\alpha\omega) \cdot T/\alpha = \mu N \cdot r\omega \cdot T = \int_0^T Q dt \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。よって、1 周期当たりの発熱量は速度相似則前後で変わらず、発熱量および摩擦係数ともに相似則適用前後で変化はない。

##### 3.1.2 熱伝導の相似則

式(8)のような熱伝導方程式を考える。

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dr^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで  $T$  は温度、 $t$  は時間、 $a$  は拡散定数、 $r$  は長さである。この方程式を時間について解くと、

$$T = A \exp\left[-a\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 t\right] \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。ただし、 $A$  は長さを含む定数、 $l$  は長さである。これより、時定数  $\tau$  は、

$$\tau = \frac{l^2}{a\pi^2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

と求められる。この式から、次の条件「相似則適用前の時刻  $T$  の温度と相似則適用後の時刻  $T/\alpha$  の温度が一致する」を考慮すると、

$$\frac{T}{\tau} = \frac{T/\alpha}{\tau'} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\therefore a' = \alpha a$$

となる。よって、熱拡散定数  $a$  は  $\alpha$  倍する必要がある。

#### 3.2 温度場を考慮したシミュレーションモデル

図3に、今回用いたシミュレーションモデルを示す。被加工素材の回転中心付近を剛体とし、回転運動と送りを行う。加工を行うロータの上端と下端は回転運動のみを許す領域とし、トルクを受けて連れ回りをを行う。発熱・伝熱については以下のように考慮した。

- ・接触部では摩擦力  $N$  と相対速度  $v_r$  の積  $Q = N \cdot v_r$  (W) の発熱エネルギーが発生する。
- ・接触部では素材とロータ間で熱伝達が発生する。熱伝達係数は、橋の式より求めた。橋の式は(12)式の通りである。

$$h = \frac{1.7 \times 10^5}{\frac{\delta_1 + \delta_0}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_0}{\lambda_2}} \times \frac{0.6P}{H} \quad \dots\dots\dots (12)$$

- ・雰囲気は 300 K とし、空気への熱伝達も考慮した。熱伝達率は平板の場合、

$$Nu = h \frac{L}{k} = 0.66 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\therefore h = \frac{k}{L} 0.66 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

である。ただし、 $Nu$  はヌセルト数、 $h$  は熱伝達率、 $Re$  はレイノルズ数、 $Pr$  はプラントル数である。

- ・回転および送りをを行う領域は剛体とし、300 K 一定の熱浴であるとする。

#### 3.3 塑性加工シミュレーションの結果

図4に、塑性加工時のスナップショットを示す。

加工熱により温度が上昇し、最大で 20 K 程度上昇していることが分かる。この工程では実機でも金属めくれ込みが発生していないことが確認されているので、加工品の形状は妥当

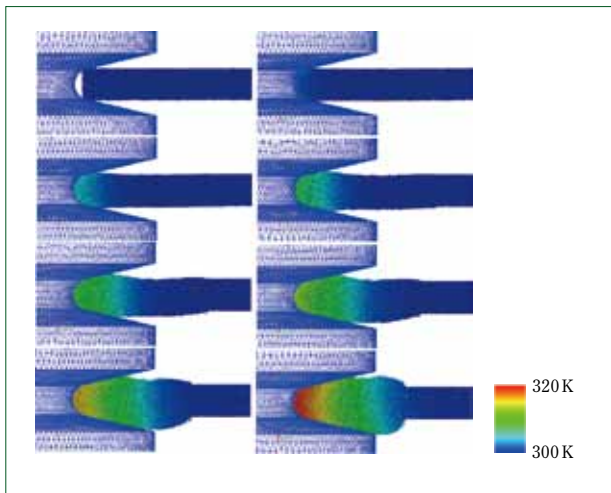


図4 塑性加工シミュレーションのスナップショット  
Snap shot of rotating plastic forming simulation

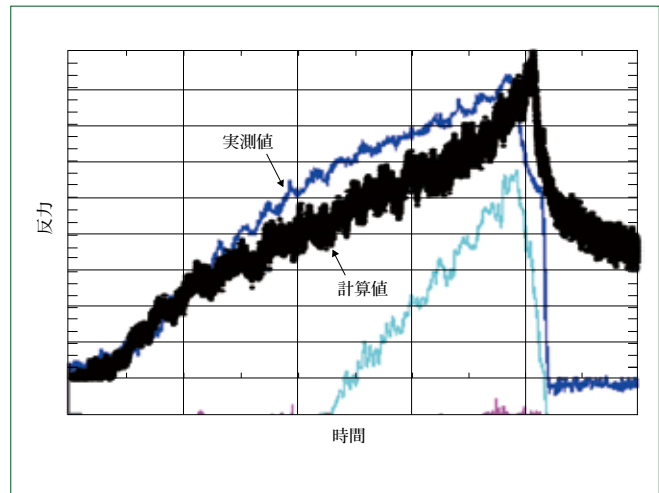


図5 反力の時刻歴  
Time dependence of reaction force

なものであると言える。

図5に、加工時の反力のプロファイルを示す。計算値は被加工素材の剛体部分が受ける力を計算した。

反力は工作機械の許容値が定められていることから、最大値が最も重要であると考えられる。図5より計測値の最大反力との誤差を求めると、およそ±5%以内で再現していた。

#### 4 むすび

- (1) 熱伝導方程式とLangevin法を組み合わせることで、熱伝導における金属自由電子の寄与を再現することに成功した。
- (2) 発熱・伝熱を考慮した速度相似則を新たに開発することで、実際より回転速度を速くしても熱的現象を同じくすることを可能にした。
- (3) 有限温度場でも炭素鋼の応力-ひずみ曲線を再現できる原子間相互作用ポテンシャルを開発した。また、温度上昇に伴い破断点が低下することを確認した。
- (4) (1)～(3)の効果をシミュレータに組み込むことで、実機加工時の反力のピーク値を5%以内の誤差で再現することに成功した。

今回開発したシミュレータは、加工条件を入力するだけで反力により加工ができるか否かを試作することなく判断することが可能である。今後はほかの典型的加工法に適用し、RMDの有用性を実証していく。

#### (参考文献)

- (1) 大西良孝, 檜垣孝二, 市嶋大路, 広瀬良太, くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション, 住友重機械技報, No.179, 2012.
- (2) 大西良孝, 檜垣孝二, 市嶋大路, 広瀬良太, くりこみ群分子動力学法を用いた回転塑性加工の計算機実験, 塑性加工連合講演会講演論文集, 2012, p.305~306.
- (3) 上原拓也, 上原秀和, 井上達雄, 面心立法格子における熱伝導の異方性に関する分子動力学シミュレーション, 日本機械学会論文集(A編), 第67巻, 第656号, 2001.
- (4) 大西良孝, 解析装置, 特願 2012-208720.

- (5) 日本機械学会編, 原子・分子を用いる数値シミュレーション, コロナ社, 2001.
- (6) John C.Tully, Dynamics of gas-surface interaction:3D generalized Langevin model applied to fcc and bcc surface, J.Chem. Phys. 73, 1975(1980).

※「VARIFOMA」は日本スピンドル製造株式会社の登録商標です。



---

## 住友重機械技報第182号発行に当たり

---

住友重機械技報第182号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2013年8月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____  住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2355	(発信元) _____  貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

**住友重機械技報第182号の送付先の確認と読后感などの件**

<b>送 付 先 変 更</b>	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	<b>➔</b>	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

<b>新 規 送 付 先</b>	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ <span style="float: right;">必要部数 _____ 部</span>
----------------------------------	--

<b>本 号 の 読 後 感 に つ い て</b>	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。  2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい) 1 興味深かった                      2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	--

キ  
リ  
ト  
リ  
線

## 主要営業品目

### 変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機、サイクロギヤモーターアルタックス、精密制御用サイクロ減速機、コンパワー遊星歯車減速機、[平行軸]パラマックス減速機、ヘリカルパディボックス、プレストギヤモーター、[直交軸]パラマックス減速機、ハイポニック減速機、アステロ直交ギヤヘッド、ベベルパディボックス、ライタックス減速機、HEDCON ウォーム減速機、小形ウォーム減速機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機、バイエル・サイクロ可変減速機、[電気式変速機]インバータ、インバータ搭載ギヤモーター、サーボドライブ、DCドライブ  
サイクロ、アルタックス、コンパワー、パラマックス、パディボックス、ハイポニック減速機、アステロ、ライタックス、HEDCON、バイエルおよびバイエル・サイクロは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機、射出吹込成形機、ディスク成形機、セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機、フィルム製造装置、ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成形システム・金型：射出成形用金型、PET システム、インジェクションブロー成形システム、インモールドラベリング成形システム

### レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザと加工システム ●エキシマレーザと加工システム

### 半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池、タッチパネル、有機EL用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ ●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マイクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●半導体封止装置 ●ウエハ研削装置

### 環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ、ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集塵装置、灰処理装置、乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水処理施設、下水処理施設、浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

### 加速器、医療機器、精密機器、極低温機器、超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン、ライナック、シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS、標識化合物合成装置、陽子線治療システム ●冷凍機：パルスチューブ冷凍機、4KGM 冷凍機、スターリング冷凍機、MRI 用冷凍機、クライオポンプ ●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット CYPRIS は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### 物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

### 金属加工機械

●鍛圧機械：フォーミングプレス、油圧プレス、フォーミングロール、超高圧発生装置 ●工作機械、クーラント処理装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

### 運搬荷役機械

連続式アンローダ、港湾荷役クレーン(コンテナクレーン、タイヤマウント式ジブクレーン、タイヤマウント式 LLC)、トランスファークレーン、ジブクレーン、ゴライアスクレーン、天井クレーン、製鋼クレーン、自動クレーン、ヤード機器(スタッカ、リクレーマ、スタッカ/リクレーマ)、シップローダ、ベルトコンベアおよびコンベアシステム、リフティングマグネット装置、コークス炉移動機械

### 船舶海洋

●船舶：油槽船、撒積運搬船、鉍石運搬船、鉍油兼用船、コンテナ船、自動車運搬船、その他海洋構造物

### インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函、ケーソン

### 化学機械、プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置、化学装置、原子力装置 ●発電設備：循環流動層ボイラ ●圧力容器：リアクタ、塔、槽、熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽、スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)、バイボラック(横型2軸反応装置) マックスブレンドおよびバイボラックは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### 建設機械、フォークリフト

油圧式ショベル、移動式環境保全およびリサイクル機械、杭打機、道路舗装機械、フォークリフト

### タービン、ポンプ

蒸気タービン、プロセスポンプ

### その他

航空用機器、精密鋳鍛造品、防衛装備品(各種機関銃、機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は、省略しております。

## 事業所

本社	〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005 大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中部支社	〒461-0005 名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)	(田 無)	
九州支社	〒810-0801 福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)		
田無製造所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号		
千葉製造所	〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町731番1号		
横須賀製造所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地		
名古屋製造所	〒474-8501 愛知県大府市朝日町6丁目1番地		
岡山製造所	〒713-8501 岡山県倉敷市玉島乙島新湊 8230 番地		
愛媛製造所			
新居浜工場	〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号		
西条工場	〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地		

本号に関するお問い合わせは、技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

## 技報編集委員

委員	下園 一治	委員	小松 幹生
	石田 浩修		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	大谷 博之		須田 祐一
	秋山 年春		柴田 憲司
	長部 洋介		田村 悟
	浅井 一浩		西澤 信也
	川井 浩生		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	乃美 和博		井手 紀彦
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

## 住友重機械技報

第182号 非売品

2013年8月10日印刷 8月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社  
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号  
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2326

発行人 谷口 勝彦



**住友重機械工業株式会社**  
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

