

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW



# 住友重機械技報

No.192

Jan.2017

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. 192 2017

## 搬送物流設備特集

論文・報告	住友の産業用クレーン	浅井一浩	1
	フリーサイズケース自動倉庫	許 スユウ 日野克美 河野龍太	9
技術解説	重錘油圧式200m <sup>3</sup> グラブ浚渫船	真鍋 篤	13
	RTGの遠隔自動システム	小林雅人	15
	通信販売業界向け出荷揃えシステム	西前健司	17
	対面フェイスピッキング自動倉庫システム	西前健司	19
新製品紹介	新型バッテリー式フォークリフト FB0.9~3.5t		21
論文・報告	高周波プラズマ数値シミュレーション技術開発	宮下 大 越智秀太	23

## Special Issue for Material Handling Equipment & Systems

T/PAPERS	Industrial Cranes of SHI Material Handling Systems	Kazuhiro ASAI	1
	Free-size Case Automated Storage and Retrieval System	Shu XU, Katsumi HINO, Ryuta KOHNO	9
T/INVITATIONS	Counter Weight Balanced Hydraulically Operated 200m <sup>3</sup> Grab Dredger	Atsushi MANABE	13
	Remote Automatic System of RTG	Masato KOBAYASHI	15
	Shipping Assort Systems for Mail-order Business	Takeshi NISHIMAE	17
	Side-face Picking Automated Storage and Retrieval System	Takeshi NISHIMAE	19
NEW PRODUCTS	New Battery Forklift FB0.9-3.5t		21
<b>T / PAPERS</b>			
	The Development of Numerical Simulation for Radio Frequency Plasma Source	Masaru MIYASHITA, Syuta OCHI	23

**Special Issue for Material Handling Equipment & Systems**

# 搬送物流設備特集



# 住友の産業用クレーン

## Industrial Cranes of SHI Material Handling Systems

●浅井 一 浩\*  
Kazuhiro ASAI



図1 ゴライアスクレーン(GC)  
Goliath crane

住友重機械工業株式会社は、1888年に別子鉱業所の工作係として機械修理を行っていたのが会社の祖業であるが、1912年には自社設計のクレーンを製作・納入し始めており、クレーン製作の歴史は100年を超えている。

戦前には天井クレーンや水平引込み式クレーン、橋形クレーンといった機種を順次開始し、戦後はコンテナクレーンやゴライアスクレーン、連続式アンローダと製作する機種を増やして現在に至っている。

本報では、現在産業用クレーン事業を担っている住友重機械搬送システム株式会社で製作している、主に工場など屋内で使用するクレーンと岸壁など屋外で使用するクレーン、そして連続機や作業船などの特殊なクレーンや周辺技術など、クレーンの機種とその特徴について紹介する。

In 1888, the company's beginning of Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI) was engaged in mechanic repair at Besshi Mining Plant. In 1912 it began to manufacture the crane products, and the history of crane manufacturing is over 100 years. Prior to the war, our company began manufacturing models such as overhead cranes, level luffing cranes, and bridge type cranes sequentially. After the war, our company has increased the types of crane such as container cranes, goliath cranes, continuous ship unloader. Sumitomo Heavy Industries Transportation Systems Co., Ltd. is in charge of crane business of SHI. This report introduces crane models and their characteristics such as cranes used indoors mainly in factories etc., cranes used outdoors such as quay, as well as special cranes and peripheral technologies.

### 1 まえがき

住友重機械工業株式会社は、1888年、別子鉱業所の工作係として機械修理を行ったのが会社の祖業であるが、1912年には自社設計のクレーンを製作・納入し始めており、クレーン製作の歴史は100年を超えている。

天井クレーンの初号機を製作後、戦前までに水平引込み式クレーンや橋形クレーンといった機種を順次開始している。戦後はコンテナクレーン、ゴライアスクレーン、連続式アンローダと、製作する機種を増やして現在に至っている。

本報では、主に工場など屋内で使用するクレーンと岸壁など屋外で使用するクレーン、そして連続機や作業船などの特殊なクレーンや周辺技術など、住友重機械搬送システム株式会社で現在、製作しているクレーンの機種とその特徴について紹介する。

### 2 屋内クレーン

屋内で使用するクレーンとして、吊り能力1tから500tを超える大容量まで、さまざまな産業で活躍している天井クレーンを製作しているが、その機能によりいくつかの種類に分





図2 天井クレーン(OHC)  
Overhead crane



図3 レードルクレーン(LC)  
Ladle crane

かれる。

### 2.1 一般的な天井クレーン(OHC) (図2)

天井クレーンは、主に工場建屋内において重量物の搬送を目的として使用されるが、搬送する取扱い物や使用目的に応じて種々異なる吊り具を使用している。

天井クレーンの主な動作には、工場建屋に敷設されている走行レールに沿ってクレーン全体が移動する走行、クレーンのガーダに沿ってトロリが移動する横行、そして荷物を上昇・下降させる巻上げ下げの3種類がある。

クレーンは、一般的に走行レールなど基礎側の耐力が吊上げ能力に対して大きな制約を与えることから、クレーンの自重を軽量化することが求められるが、天井クレーンの場合にはこれと同時に、建屋内の設備と干渉しないようにコンパクト化することも求められる。

走行、横行および巻上げ下げの各駆動装置には主にインバータ制御を採用し、動作スピードの安定化、操作性およびメンテナンス性の向上を図っている。また、高操業にも対応できるように無負荷時は巻上げ速度を1.5倍速などに高速化し、作業効率の向上を図るとともに運転者の負担を軽減している。

天井クレーンは工場建屋の高い位置に設置されていることもあり、安全対策として地震時におけるトロリおよびガーダの落下防止装置や、ガーダ間の安全ネット取付け用フック、走行衝突防止装置などが設置されている。また、主巻上げと補巻上げによる共吊り作業を行う場合は、単独荷重および主巻上げと補巻上げの合計荷重が定格荷重を超えないようにロードセルを設置している。

住友重機械搬送システムでは、老朽化による小型天井クレーンの更新需要の増加に対応すべく、古い設計基準で設計されていた構造を最新の基準で見直すとともに、低価格と短納期を実現する小型天井クレーン(マスコットⅡ)を開発した。

### 2.2 レードルクレーン(LC) (図3)

レードルクレーンは、製鉄所で鉄を作る工程で使用される天井クレーンの一種である。高炉で製造された溶銑を取り扱う溶銑用レードルクレーンと、転炉で製鋼された溶鋼を取り扱う溶鋼用レードルクレーンなどがあり、高温、高熱および塵埃など過酷な環境で使用される。

住友重機械搬送システムのレードルクレーンは、主巻上げ

の駆動制御には高圧リアクトル制御を、補巻上げの駆動制御にはサイリスタ制御を、主横行、補横行および走行の駆動制御には主にインバータ制御を採用し操作性の向上を図っている。

製鉄所の最重要工程で使用されるクレーンであることから、万一の故障時に備えて予備用インバータを搭載しており、各インバータが故障した際には、切替えスイッチで予備インバータに切り替えて運転することが可能なものとなっている。

さらに安全対策として、吊りビームを吊るワイヤロープ4本のうち、1本が切断しても落下しない構造を採用したうえで、主巻上げおよび補巻上げにはロードセルを設置し過荷重を検出している。また、主巻上げドラムを直接保持する非常停止用の油圧押し機ディスクブレーキも設置している。

過酷な環境で使用されることから、防熱対策として電気品および配線の保護を行っている。また、運転室は居住性と操作性の向上を図り、メンテナンス性の向上を目的として状態監視システムを搭載している。

レードルクレーンは、一般的な天井クレーンに比べて過酷な環境で使用されるだけでなく、各製鉄所の設備に合わせた特別仕様となることが多いことから、3次元CADで設計することで顧客と効率的な打合せを進め、設計初期の段階から全体の安全性やメンテナンス性の検証を実施している。

### 2.3 ソーキングピットクレーン(SPC) (図4)

ソーキングピットクレーンは、製鉄所で圧延などを行うべく鋼塊を均熱炉に挿入、搬出するクレーンである。鋼塊を取り扱う掴み装置としては電動スクリュ式、油圧式および強力自重掴み式がある。

強力自重掴み式は、住友重機械搬送システムが独自に開発した方式で掴み装置の自重と鋼塊の自重を利用して氷ばさみの原理で鋼塊を掴んでいる。この方式は、摺動部が少なくメンテナンスのしやすさからソーキングピットクレーンの主流方式となっている。鋼塊のほかにも形鋼製品用のブルーム材も掴むことから、掴み装置の先端金具は取扱い物に応じた形状の金具に着脱できるようになっている。

住友重機械搬送システムのソーキングピットクレーンは、掴み装置のガイドフレーム下段付近に運転室を設置しており、目前で動作確認を行うことで掴み損ねを低減している。炉の



図4 ソーキングピットクレーン(SPC)  
Soaking pit crane



図5 ジブクレーン(JC)とつち形クレーン  
Rail-mounted jib crane and cantilever crane

上での作業を主とするクレーンであることから、輻射熱対策として防熱板を設置している。

安全対策においては、必要な掴み力が作用していないと巻上げ動作を行えないという機能を設けている。さらに、掴み装置の周囲には誤って侵入しないように主回路を切らないと開錠できない機械ロック式の扉を設置している。また、万一の故障時に備えて予備インバータを搭載しており、故障の際には、切替えスイッチで予備インバータに切り替えて運転することが可能なものとなっている。

ソーキングピットクレーンは、鋼塊を掴む以外に、均熱炉の底に堆積するスケールの除去作業も行うが、掴み作業より高い負荷が発生する可能性があることから、一定のトルクを超えると作業を停止する安全機能を持たせている。

#### 2.4 自動クレーン

一般的な大型の天井クレーンは人がクレーンに乗って運転しているが、製造設備のセグメント交換用や鋼材を取り扱うクレーンのなかには人が運転しない自動運転の天井クレーン(自動クレーン)もある。

自動クレーンは、製造を管理するプロコンから指令を受け、一連の搬送作業を全自動で行っている。なお、スイッチの切替えにより運転室での手動操作やテレコンでの遠隔手動操作も可能である。

鋼材を取り扱う自動クレーンでは、鋼材の種類に合わせた吊り具を使用しているが、形鋼などの鋼材は吊りビームに設置されたL型のフックを使用して吊り上げている。巻上げ動作は、L型のフックに設置されたレバー式リミットスイッチとロードセルにより鋼材の有無を自動検知して行われている。また、自動運転中はクレーンの動きを常時オペレータが監視するので、各駆動装置に検出装置を設け安全を確保している。

住友重機械搬送システムの自動クレーンでは、設計初期の段階からシミュレーションを行い、クレーンの各動作により発生する吊りビームの振れ量を確認し、クレーンの各動作に

必要となる時間を算出して自動制御を行っている。なお、吊りビームの上にはサイクルタイムを短縮すべく振れ止め装置を設置している。

### 3 屋外クレーン

屋外で使用するクレーンは、取扱い物により大きく2種類に分かれる。ブロックやコンテナなど荷物が一つの塊になっているカサ物を扱うクレーンと、石炭や鉄鉱石のように細かなバラ物を扱うクレーンである。

#### 3.1 ジブクレーン(JC)(図5)

ジブクレーンは、造船所や港湾など多方面でカサ物を扱うクレーンとして使用されており、主な動作には走行、巻上げ下げ以外にジブの起伏と旋回の動作がある。

1970年代の造船所建造ラッシュ時にシングルレバー式水平引き込みクレーンが多数設置され、1990年代までは主流な構造となっていた。シングルレバー式は、構造の複雑さと使用している部品から、コストダウンと吊上げ能力の大型化には限界があった。

このことから、旋回装置にターンテーブル軸受を採用したワイヤロープによる水平引き込み式の新型ジブクレーンを開発して1996年に100t吊りのジブクレーンを納入。機体重量は従来と同等であるにもかかわらず吊上げ能力を倍増できたことから注目を集め、その後200台以上を納入した。住友重機械搬送システムのジブクレーンは、小型は定格荷重5tから、大型は定格荷重600tまでの実績を有し、近年の国内年間シェアは90%を超えている。

新型ジブクレーンの下部の走行ブロックは、下から順番に積み上げる積み木構造を採用した簡便化構造としている。これにより、大きな足場や支柱などを別途配置することなく走行ブロックを製作することが可能となった。上部の旋回ブロックは、各構造体同士を連結するピン連結の採用と、機械室を構造体から分離した構成により、下部の走行ブロックと同





図6 タイヤマウント式ジブクレーン(TMJC)  
Tyre-mounted jib crane



図7 製品荷役用橋形クレーン(BTC)  
Bridge type crane for product shipping

様に積み木式の組立てが可能な構造となっている。

新型ジブクレーンは、構造の簡便化および高強度材料の採用により機体重量の大幅な削減を実現した。このことからコストダウンが可能になるとともに、基礎側の耐力を補強することなく、既存のジブクレーンの吊上げ能力の2倍近い荷重を吊ることも可能となり、これまで大きな注目を集めてきた。造船所では、ジブクレーンの吊上げ能力が倍増することで、扱う船殻ブロックを大型化することが可能となり、生産能力が向上することから多く採用されている。

また、ターンテーブル軸受の採用により、従来使用されていたフットステップベアリングの能力の限界によって300tまでであった吊上げ能力をさらに大きくすることが可能となり、吊上げ能力400tや600tのジブクレーンが実現している。

特殊なジブクレーンとしては、造船所での鋼板水切り用に特化したつち形クレーンにもターンテーブル軸受を採用している。新型ジブクレーンと同様に、走行ブロックの上に横行レールを備えたブームに懸垂されたトロリを配置して作業半径を変えるもので、トロリ下に4点吊りの旋回式ビームと伸縮式リフティングマグネットビームを備えている。4点吊り方式の吊りビームは、偏心荷重でもビームが傾くことなく荷役が可能で、安定した水切り作業ができる。

造船所以外の用途のジブクレーンとして、製品出荷用据置き型600tジブクレーンや、構造物組立て用高揚程200tジブクレーン、グラブバケット付き230t/hジブクレーン式アンローダなども製作している。

さらに、走行レール上を走る一般的なジブクレーンではなく、ラバータイヤで自由に走行できるタイヤマウント式のジブクレーン(図6)も製作している。タイヤマウント式には、機械室の位置を下げて低重心化することで走行性能を上げた低床型のジブクレーンの実績も多数ある。

### 3.2 橋形クレーン(BTC)(図7, 図8)

橋形クレーンには、製品荷役用橋形クレーンと橋形アンロ

ーダや、コンテナクレーンも含まれる。またブームを有しない門形クレーンも橋形クレーンの一種である。

住友重機械搬送システムの屋外クレーンの歴史は橋形クレーンから始まっており、天井クレーンと同等の歴史を持ち、一番古い納入履歴は1925年の半門型クレーンである。

製品荷役用橋形クレーンは、製鉄所などの製品出荷岸壁や鉄鋼製品の中継基地などに設置され、船への積み込みや陸揚げに使用される。橋形アンローダは、製鉄所などの原料岸壁に設置され、船から鉄鉱石や石炭などのパラ物を陸揚げする際に使用される。住友重機械搬送システムでは1931年に橋形アンローダを、1935年に製品荷役用橋形クレーンの初号機を納入している。

製品荷役用橋形クレーンは、コイルや厚板など取扱い物の寸法、形状、重量のほか対象船舶、取扱い物の岸壁上の配置と船内積付け方向など、使用される状況に合わせた最適の形状や大きさで設計する。

製品荷役用橋形クレーンの主な動作には走行、横行、巻上げ下げ以外にブームの起伏があるが、各動作にはインバータ制御を採用し、動作スピードの安定化、操作性およびメンテナンス性の向上を図っている。また、高操業にも対応できるように無負荷時の巻上げ速度の倍速化や横行速度の高速化を図り、作業効率の向上を図っている。さらに、一部クレーンでは半自動運転を導入し、運転者への負担を軽減しているものもある。

橋形アンローダは、時間当たりの陸揚げ能力と対象船舶および地上側コンベヤの配置をもとに、使用するグラブバケットや受入れホップの大きさと位置、各動作速度や掴み上げ荷重を見極めて最適の形状や大きさで設計している。また、ワイヤロープの取替えの難易度を大きく下げたロープトロリ式を開発した結果、陸揚げ能力が大きなアンローダの大幅な軽量化を達成している。

橋形アンローダの主な動作にも走行、横行、巻上げ下げと





図8 橋形アンローダ  
Bridge type unloader



図9 コンテナクレーン(CC)  
Container crane

ブームの起伏があるが、各動作にはインバータ制御を採用し、各動作に対して速度やトルクの高度な制御を自動で行っている。また、グラブバケットの掴み運転から最適ルートでホップ上までグラブバケットを移動させてバラ物をホップに投入、さらに船倉側へ戻る途中までの運転を自動で行い、運転者の負担を大幅に軽減している。

### 3.3 ゴライアスクレーン(GC)(図1)

ゴライアスクレーンは橋形クレーンの一種で、造船所において建造船が全体組立てされるドックとドック横の船殻ブロックの準備エリアをまたぐかたちで設置される巨大なクレーンである。船殻ブロックの搬送や反転作業に使用されており、多くのゴライアスクレーンはガーダスパンが100mを超えている。

ドックの両側に脚を設けた門型構造であることから、クレーンガーダ全域にわたり最大吊上げ能力を発揮することができるという特長がある。また、隣接した2台のゴライアスクレーンで共吊りすることにより、さらに巨大なブロックの搬送が可能である。

ゴライアスクレーンの主な動作には走行、横行、巻上げ下げがある。各動作にはインバータ制御を採用し、スムーズな起動、停止および微速運転による吊り荷の高精度な位置合わせを可能としている。

住友重機械搬送システムでは、1974年に台風などの影響を受けにくい内トリ式のシングルガーダのゴライアスクレーンを納入した後、計6基を製作した。造船業界は、その後長らく構造不況となったことからゴライアスクレーンの製作は途絶えていたが、1990年代には更新需要を予測して、軽量高剛性の構造、高度な制御と海上吊り組立て工法を取り入れたダブルガーダ式の新型ゴライアスクレーンを開発し、1999年に市場投入した。機体重量は従来と同等であるにもかかわらず吊り能力を倍増してきたことから、その後はほぼ国内の新設ゴライアスクレーンの市場を独占している。新型ゴライアスクレーンはダブルガーダ式のガーダ上に2台のトリを配置

し、お互いが交差可能な構造としている。

ガーダ上の2台のトリは、船殻ブロックなどの吊り荷の形状、大きさおよび重量に合わせ、単独または共吊りの作業が行える。また、吊り荷の搬送や反転作業を効率良く行うべく、旋回式やローブバランス式および2段バランス式などの吊り具を装備している。2台のトリを同時に使用する場合には、1つのコントローラにて巻上げおよび横行の連動運転が行える。巻上げ速度や横行速度を同調させ、荷の傾きや吊り間隔が変化しないようにして安全を図っている。

ゴライアスクレーンのような長スパンのクレーンでは、走行時に左右の脚の位置がそろわず斜行が生じると脱線事故につながる危険性がある。そこで、走行車輪の回転数から走行位置を検出する斜行検出装置を備え、左右の脚の位置ズレによる事故の危険性を解消している。

### 3.4 コンテナクレーン(CC)(図9)

コンテナクレーンは、生活物資を含むさまざまな物が格納されたコンテナの海上輸送と陸上輸送間の搬送に使用される。日本では、1967年に初めて神戸港に導入され、住友重機械搬送システムでも翌1968年に初号機を納入している。近年では、輸送船の大型化に伴い、クレーンの大型化への需要が拡大する一方で、岸壁基礎の強度問題や航空法による高さ制限などの制約から、軽量化や低床クレーンなどへの要求も出てきている。

コンテナクレーンの主な動作には走行、横行、巻上げ下げ以外にブームの起伏がある。コンテナクレーンはほかのクレーンとは異なり、クレーン上に設けられた運転室は、掴んだコンテナの横行に合わせてクレーンガーダ上を移動して、コンテナを陸上に降ろす確認をする。

コンテナクレーンには掴んだコンテナの荷役時の振れを抑制する振れ止め装置や、巻上げ中にコンテナが引っかかったときの衝撃緩和を目的としたスナグ装置などの機能がある。また、阪神・淡路大震災を機に開発された大地震からクレーンを守る免震装置や、一度に2つのコンテナを掴むことがで



図10 ダブルリンク式水平引込みクレーン(LLC)  
Rail-mounted level luffing crane



図11 ダブルリンク式水平引込みアンローダ  
Rail-mounted level luffing unloader

きる2個吊り吊具などの特殊機能もある。また、走行レールが不要なラバータイヤで走行できるタイヤマウント式コンテナクレーンもある。

### 3.5 トランスファクレーン(TC)

トランスファクレーンは、コンテナの海上輸送と陸上輸送の中継地であるコンテナターミナルの蔵置エリアにおいてコンテナの受入れ、出荷の積付けおよび払出しなどコンテナ搬送を行うクレーンである。

トランスファクレーンは門形クレーンであり、その懐にコンテナを積み木のように積み上げるが、積み上げる数によりクレーンの大きさが決まる。現在国内では最大6列6段まで積み上げられている。

タイヤ式のトランスファクレーンの特殊機能としてオートステアリング機能があり、これによりクレーンの直進走行を実現している。オートステアリング機能は、地上に真っすぐに埋設された磁気ガイドラインを検知して走ることから、非常に高い直進性を実現している。

さらに、最大の特長として自動運転があげられる。名古屋地区に納入した世界初の自動トランスファクレーンは、自動台車で搬入されたコンテナの積付けと自動台車への払出しを完全自動運転で行うことが可能という世界に誇れる技術を持つ。また、既設の手動クレーンの改造による自動化もっており、今後の事業拡大が期待されている。

### 3.6 ダブルリンク式水平引込みクレーン(LLC)(図10, 図11)

ダブルリンク式水平引込みクレーンは、大型のクラブトロリ式アンローダなどが登場したことにより、近年では石炭などのバラ物荷役機械としては脇役に回っている。しかしながら、その多用途性と高い荷役効率が強みで、多品種の取扱い物を荷役できることから副原料用の中型アンローダや、一般雑貨荷役、鋼板、形鋼、鋼板コイルおよび紙ロールなど製品を扱うクレーンとして根強いニーズがある。

住友重機械搬送システムでは、1930年にドイツのデマグ社との技術提携によりダブルリンク式水平引込みクレーンの製

作を開始している。天井クレーンに次いで歴史の古い機種で盛んに納入されていた時期のシェアは70%を超え、全納入台数は650台に達する。

ダブルリンク式水平引込みクレーンの特長として、ジブ先から荷重までのロープの長さが同一半径のジブクレーンより短く、かつリンク構造なので一般的なジブクレーンに比べてジブのしなりが少ないこと。荷の振れが少なく運転操作性が良いので、荷役効率が高いことがあげられる。また、ジブ先端がコンパクトな構造なので、対象船舶のマストの形状、位置およびハッチの大きさなどにかかわらず平均した陸揚げ能力を発揮できることから、1000t/h以下のアンローダの主力機種として活用されている。

ダブルリンク式水平引込みクレーンの構造部材の構成自体は大きく変化していないが、ローラーパス方式の旋回構造から新型ジブクレーンで採用したターンテーブル軸受に変えることで、ローラーパス方式の生産限界を超える大型化が可能になった。さらに、主構造がトラス構造からボックス構造に、制御方式も2次抵抗制御からインバータ制御へと現在の技術に即したものに更新され近代化が進んでいる。

現在は、最新技術をもとに1000t/hアンローダや、定格荷重50tで作業半径50m以上の大型対応も可能となっている。また、その多用途性とコンパクトな機体を生かし、走行レールのない岸壁に設置されるタイヤマウント式クレーンも製作している。

## 4 特殊な荷役機械および周辺技術

動力を使用して荷物を吊り上げ、水平に搬送する機械がクレーンとして定義されているが、吊上げや水平搬送をしない連続アンローダや作業船など、特殊な荷役機械の製作も行っている。

### 4.1 連続アンローダ(CSU)

アンローダは石炭や鉄鋼石、穀物などのバラ物を船から陸揚げする荷役機械であるが、連続アンローダは橋形クレーン





図 12 ヤード機械  
Stock yard equipment

や水平引き込みクレーンのようにグラブバケットで掴んで間欠的に荷役しているものと異なり、バケットを多数連結したバケットエレベータで連続的に陸揚げする荷役機械である。

連続アンローダの主な動作には走行、ブームの起伏、旋回に加えて、バケットチェーン部の旋回動作がある。

多数の連続したバケットを用いて掘削、陸揚げすることで高い荷役効率を発揮するバケットエレベータ式連続アンローダの開発に、住友重機械搬送システムが1976年に世界で初めて成功し、以降トップメーカーとして国内外で約50台の納入実績を収めている。大容量化と高い荷役効率に加え、省エネルギー化、粉塵飛散への対策など環境に配慮した性能から、橋形アンローダ同様にバラ物陸揚げの主要な機種となっている。

特に1986年にはカタナリ底さらえ機能付きシングル型掘削機構を開発して、ハッチ奥の深い大型船でも高い荷役効率を達成している。カタナリ底さらえ機能は、水平掘削部のチェーンを緩めた状態で船倉の底さらえを行うことにより、船体やアンローダにダメージを与えることなく効率を上げることができる。

火力発電所に近年納入した石炭用バケットエレベータ式連続アンローダは、陸揚げ能力が2700 t/hで石炭陸揚げ用としては最大級の設備である。住友重機械搬送システムの標準のカテナリ底さらえ機能付きシングル型掘削機構により、35000 DWT級の小型船から140000 DWT級の大型船まで効率の良い荷役が可能である。

また、振動や騒音の低減、搬送経路の密閉化による機外への発塵や落炭の防止、散水装置による粉塵対策、真空清掃装置による落粉の清掃など、環境対応にも優れた設備となっている。また、従来からの高い荷役効率を維持したうえで、連続アンローダの運用経験を持つ電力会社の要望を同時に実現させ、保守性の大幅な向上を実現している。

さらに、地震・津波対策を向上させて長期にわたる安定操業を可能とし、燃料受入れにおける効率向上に寄与する設備となっている。

#### 4.2 VSC式連続アンローダ(VSC)

VSC式連続アンローダは、バケットエレベータの代わりに垂直スクリュコンベヤを用いてバラ物を陸揚げしている。



図 13 作業船  
Work vessel

垂直スクリュ部分は密閉構造となり、機外への発塵を防止でき、環境対応にも優れた設備である。

住友重機械搬送システムが最近納入したVSC式連続アンローダは、最大2300DWT級船舶からの石炭の陸揚げに使用される。先端の掘削ブレードを回転させながら船倉内を移動させて荷を取り込み、垂直スクリュコンベヤで垂直搬送を行う機構である。先端がコンパクトなことから、バケットエレベータ型連続アンローダでは対応が難しい小型船舶からの陸揚げが容易である。

ブームの旋回および起伏、垂直スクリュスイングの3つの動作により、スクリュ先端を任意の位置に移動させることができる。効率的な荷採りを行うには3つの動作を同時にコントロールして、スクリュ先端を直線的に移動させる必要があるが、直線採り連動制御機能の採用により、3つの動作の同時コントロールを操作レバー1本の1方向操作で実現し、効率的な荷採り操作を容易に行うことができる。また、定格荷重7.5tのクレーン機能も併せ持ち、底ざらい用ホイールローダの船内投入も行うことができる。

#### 4.3 ヤード機械(図12)

ヤード機械は、連続アンローダなどで陸揚げされた鉄鉱石や石炭などバラ物をストックヤードに連続的に積み付けたり、発電設備などへの払出しを行う荷役機械である。主に積み付けを行うスタッカと払出しを行うリクレーマ、両方の機能を有するスタックリクレーマの3種類がある。

ヤード機械は旋回部分、走行台車部分およびトリッパ部分により構成される。旋回部分は、走行台車上にターンテーブル軸受にて支持され、ブームコンベヤ、旋回装置、俯仰装置およびそれらを支える鉄鋼部により構成される。走行台車部分は4隅の脚部を走行装置にて支持される。

住友重機械搬送システムが最近納入したブーム形シーソ式のスタッカは、積み付け能力は3000 t/hで旋回、俯仰および走行はインバータ制御を採用し、スムーズな起動と停止を実現している。

地上コンベヤから送られてきた石炭をトリッパにて受け、ブームコンベヤを経て走行路両側のヤードに積み付けを行う。また、隣接ヤードの地上コンベヤへの乗継ぎも行う。ブーム旋回角度は、地上コンベヤに平行な角度から左右135° ずつ



表1 作業船の改造実績  
Work vessel remodeling record

	改造実績	対象作業船
2007年	低床型ブーム改造および復旧工事	3000t起重機船
2009年	ブーム、Aフレームの製作	4000t起重機船
2012年	30m <sup>3</sup> バケット付き浚渫船への改造	300t全旋回起重機船
2015年	揚程40mを58mへ増加改造	200m <sup>3</sup> 重錘油圧式グラブ船

と広範囲にわたることから、隅々までの積付けを可能としている。また、ブーム俯仰角度を最下限にすることで、ブーム先端が地上付近まで下がり、メンテナンス性を向上させている。

運転は、ヤード機上の運転室からの手動運転、自動運転および乗継運転ができるだけでなく、遠隔操作盤からも同じ運転が可能である。さらに、メンテナンス時などには各機器近傍の現場操作箱からの単独運転も可能としている。

#### 4.4 作業船(図13)

作業船には起重機船、浚渫船と多目的作業船などがある。起重機船は、一般的に旋回機能がなくブームの起伏機能のみの場合が多い。住友重機械搬送システムでの起重機船の製作実績は、吊上げ能力で600~3500tに達する。

浚渫船と多目的作業船は旋回機能を持ち、浚渫バケット、杭打ち機および砕岩棒などを交換することにより各種作業を可能としている。浚渫船の製作実績は、8m<sup>3</sup>グラブ船から200m<sup>3</sup>重錘油圧式グラブ船まであり、200m<sup>3</sup>重錘油圧式グラブ船はギネス認定された世界最大能力のものである。また、旋回式作業船にはオフショアクレーンと言われる大型のものがあ、り、吊上げ能力で1800~4500tの製作実績がある。

近年、作業船の新造実績は少なく既設作業船の改造工事が多い(表1)。

現在は、造船所向けジブクレーンで培ったターンテーブル式旋回装置を採用した大型作業船の受注を目指して活動中である。

#### 4.5 リモートメンテナンスシステム

クレーンの駆動機構およびその制御システムが高機能化していくなかで、トラブルの未然防止やダウンタイムのミニマム化による安定操業の維持および向上への要望が高まっている。クレーンの制御装置と住友重機械搬送システムのPCを公衆回線で接続し、トラブル発生時の復旧支援や、収集した操業データにもとづいた予防保全提案を行うリモートメンテナンスシステムを開発しており、現在100台を超えるクレーンに搭載している。

#### 4.6 ハイブリッド電源システム

コンテナターミナルでコンテナ搬送を行うトランスファクレーンには、大型のエンジン発電機が設置されている。この

表2 各クレーンが主に使用されている業種  
Industries where each crane is mainly used

	鉄鋼	非鉄	化学	電力	港湾	造船	運輸	倉庫
OHC	○	○	○	○		○	○	○
LC	○	○						
SPC	○	○						
JC				○	○	○		
BTC	○	○	○	○	○	○	○	○
GC						○		
CC					○			
TC					○			
LLC	○	○	○	○	○		○	○
CSU	○	○	○	○				
VSC		○	○		○			
ヤード機械	○	○	○	○				
作業船							○	

ことから、多量の燃料(軽油)が消費され、黒煙や温室効果ガスの排出および騒音などが問題となっていた。

住友重機械搬送システムでは、大容量、高出力、繰返し充電が可能な蓄電装置としてのリチウムイオン電池に着目し、エネルギーをリチウムイオン電池に充電して再利用するハイブリッド電源装置SYBRID SYSTEMを開発した。

本電源装置は、ランニングコストおよびメンテナンスコストの削減と環境対策を狙いとして開発し、2008年より販売を行っている。巻下げ時に発生する再生電力を電池に蓄え(充電)、巻上げ時に再利用(放電)することにより、エンジン発電機容量を従来の約1/3にでき、燃料消費量を50%以上削減したほか黒煙排出量を低減した。また、さらなる燃料消費量削減を目的として、2速度エンジンを採用し、運転休止時はエンジン速度を低速度に切り替えることのできる機能も開発している。

既設のトランスファクレーンのハイブリッド化により、コンテナターミナルのコスト削減に大きな効果が期待される。また開発したハイブリッド電源装置は作業船に搭載した実績もあり、各種クレーンへの展開も可能な技術である。

## 5 むすび

住友重機械搬送システムでは、屋内の天井クレーン、屋外のジブクレーン、コンテナクレーン、そして連続アンローダなど多種多様なクレーンの製作を行っており、多くの業種で使用されている(表2)。

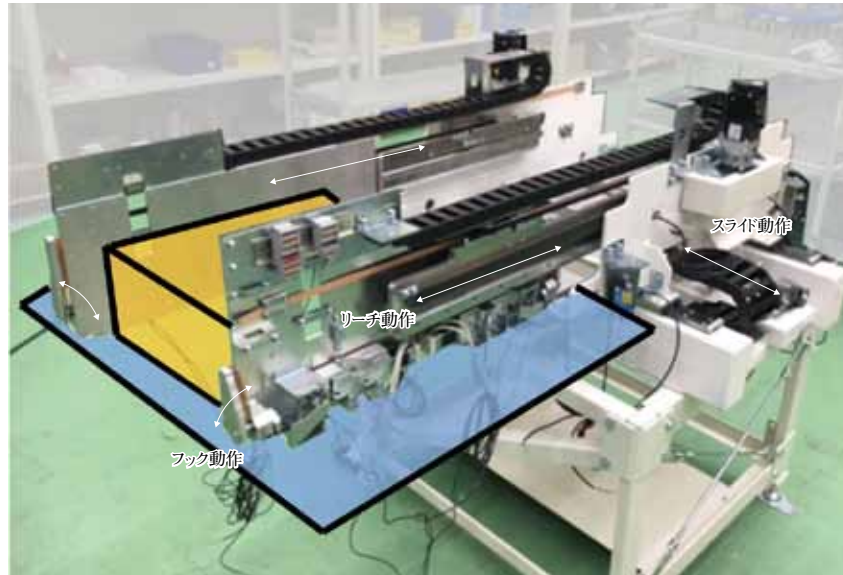
別子鉱業所の流れをくみ、100年を超えるクレーン製作の歴史に加え、2015年10月には三菱重工マシナリーテクノロジー株式会社の産業用クレーン事業と統合した。この統合により、産業用クレーンの機種およびサービスのラインナップを拡充するとともに、今後は両社が持つ技術力とノウハウを融合し、総合クレーンメーカーとして今後も顧客の声を第一に、優れた製品を納め、国際物流の発展ならびに顧客の事業繁栄に貢献していく所存である。

※「SYBRID SYSTEM」は、住友重機械搬送システム株式会社の登録商標です。

# フリーサイズケース自動倉庫

## Free-size Case Automated Storage and Retrieval System

● 許 スユウ\* 日野 克美\* 河野 龍太\*  
Shu XU Katsumi HINO Ryuta KOHNO



フリーサイズケース移載機  
Free-size case handling equipment

多品種・小ロット・多頻度の生産、多様化する消費者ニーズに応じた個配や即日配送などを必要とする物流業界では、ケースの種類(サイズ、重量、箱の強度など)にとらわれず、フレキシブルに高速移載と保管ができるフリーサイズ自動倉庫が求められている。

ここでのポイントは、取り扱うケースはフリーサイズ、すなわちサイズがさまざまということである。これに対応すべく扱えるケースサイズの範囲が広い移載装置を開発した。

また、扱うケースの強度がさまざまで、弱いダンボール箱でも優しくかつ高速で移載する動作が必要とされる。ケースに傷が付く原因となる動作の制御パラメータを考察し、検証テストによってそれぞれの制御パラメータの最適値を決定し、フリーサイズケース自動倉庫において、移載動作の最適パターンを提案した。

Since logistic industry is required to frequently produce high-mix-low-volume items and to provide home-delivery and same-day delivery services to accommodate the diversified customer needs, the demand for free-size case Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) that can realize speedy transfer and storage with flexibility regardless of size, weight, and/or sturdiness of the deliverable is increasing. Considering the variety of load sizes, Sumitomo Heavy Industries Transportation Systems Co., Ltd. has developed transfer device that makes it possible to expand the range of handling size. The sturdiness of loads also is varying, and the system is, therefore, sometimes required to carefully handle, but at the same time to speedily transfer items such as carton boxes. In this study, we examined the control parameters that could cause damage on the loads, and then determined their optimum values through verification tests. We, thus, are proposing the most suitable pattern of transfer movement for Free-size case AS/RS in this report.

### 1 まえがき

近年、食品および日用雑貨などに対する消費者の嗜好の多様化に伴い、多品種化および商品ライフサイクルの短命化が進んでいる。このことから、生産工場から販売店舗に至るまでの各流通工程では、取引単位の小口化が進んでいる。卸出荷センターや店舗出荷センターのみならず工場出荷センターにおいても、パレット単位に満たないケース単位出荷の比率が高まっている。

ケース単位出荷は、パレット単位出荷に比べてハンドリングの手間が大幅に増大することから、ケース出荷の自動化ニーズが高まっている。

一方、ハンドリング対象となるケースは、商品によって多様なサイズとなっているが、従来のフォークリフトアップ移載方式の自動倉庫では固定サイズにしか対応できなかった。

このような背景のもと、多様なサイズのケースハンドリングを実現するフリーサイズケース自動倉庫を開発した。

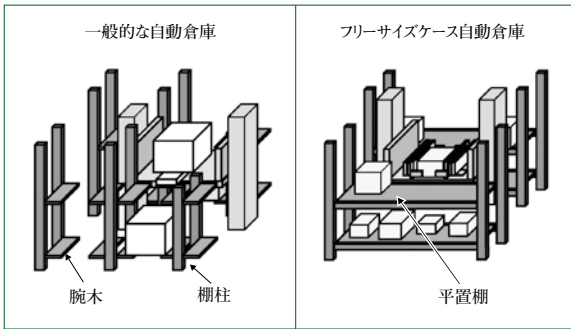


図1 自動倉庫  
Automated storage and retrieval system (AS/RS)

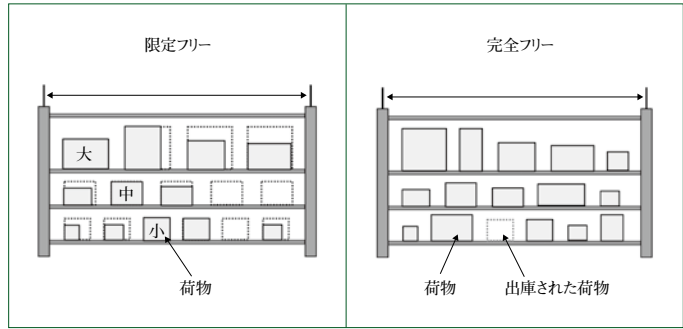


図2 フリーサイズケース自動倉庫  
Free-size case AS/RS

移載方式	先端底面CVピック	サイドクランプCV	リアフック	フォークリフトアップ	
イメージ					
ケースの自由度	サイズ差	○	○	○	×
	重量差	△ 摩擦力で移載	△ 摩擦力で移載	◎	◎
	段ボール強度差	△ 弱いと底面へこむ:NG	△ 弱いとへこむ:NG	◎	◎
移載タクト	◎	○	△	△	
保管効率	◎ 横方向に隙間不要	○ 横方向に隙間要	○ 横方向に隙間要	× 最大荷幅で設計	
定性的評価	段ボールが安定していれば◎		移載方式として汎用性大	従来方式	

図3 移載方式  
Transfer methods

※CV:コンベヤ

### 3.1 一般的な自動倉庫

一般的な自動倉庫は、図1左に示すように1つの棚にサイズが一定の荷物を収納する自動倉庫である。1つの棚は棚柱と2つの腕木でできており、棚サイズは荷物のサイズによって決定される。重いものから軽いものまで重量差に制約されずに保管することができる。主にパレット積品や一定サイズのコンテナの保管に使用される。

### 3.2 フリーサイズケース自動倉庫の格納方式

フリーサイズケース自動倉庫とは、荷物の品種(サイズ、重量、強度など)にとらわれず、フレキシブルに移載と保管ができる自動倉庫システムである。フリーサイズケース自動倉庫の場合、複数のサイズの荷物を保管するので、図1右に示すように1つの平置き棚(棚間口)に複数の荷物を格納する方式が一般的である。この方式は間隔を詰めて保管できることから、格納効率の向上も期待できる。格納位置の管理方式には次の2種類がある。

#### (1) 完全フリー格納方式

フリーサイズケース自動倉庫には、図2右に示すように、常に前に格納されたケースとの間隔を詰める完全フリー格納方式がある。この方式はケースの間隔を詰めて保管することから、無駄なスペースを最小限に抑えられ格納効率に優れた方式である。しかし、ケースの位置が不定で、地震などによって位置がずれた場合は復旧が困難である。また、出庫されて空いたスペースに、次に格納できるケースのサイズが制約され、在庫データ管理も複雑になる。

#### (2) 限定フリー格納方式

図2左に示すように、ケースのサイズによって、複数種類(ここでは大、中、小3種類)の荷物属性に分類し、1つの棚間口に属性の同じものを保管するのが限定フリー格納方式である。棚間口の荷物属性は、棚間口に保管された最初のケースで決まる。限定フリーの格納効率は完全フリーには及ばないが、属性が決まれば荷物の保管位置が決まることから、地震などでケースの位置がずれても迅速な復旧が可能となる。

### 3.3 フリーサイズケース自動倉庫の移載方式

フリーサイズケース自動倉庫の移載方式は大別して4種類ある。図3に各移載方式を示す。それぞれの特徴を次に示す。

#### (1) 先端底面CVピック方式

ケースを持ち上げて、底面の摩擦によって移載を実現

## 2 フリーサイズケース自動倉庫の特徴

前述のように、物流業界は多品種・小ロット・多頻度の生産や、多様化する消費者ニーズに応じた個配や即日配送などを必要としている。パレット単位で出荷できるほど同品種の出荷量は多くなく、かつ多品種で出荷する場合、出荷先個別パレットへパレタイズするには、多様なサイズのケースのまま保管でき、高速で入出庫できる自動倉庫が求められている。

ここでポイントとなるのは、取り扱うケースはフリーサイズ、すなわちサイズがさまざまであるということ。また、扱うケースのほとんどがダンボールであり、重い荷物用ダンボール箱の強度は高いが、軽い荷物用ダンボール箱は強度が低いので取扱いに注意が必要となるということである。

住友重機械搬送システム株式会社のフリーサイズケース自動倉庫は、大小さまざまなサイズのケースを保管でき、強度の低いダンボール箱でも傷付けずに移載するとともに、業界トップクラスのサイクルタイムで入出庫できる。

## 3 フリーサイズケース自動倉庫の概要

はじめに一般的な自動倉庫を、次にフリーサイズケース自動倉庫の格納方式とフリーサイズケース自動倉庫の一般的な移載方式について説明する。最後に客先別の取り扱いケースの仕様範囲を述べる。



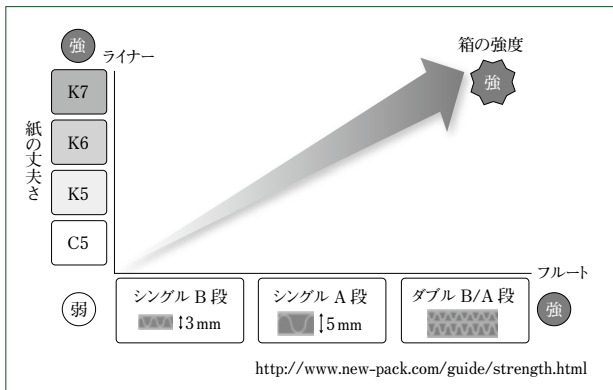


図4 ダンボールの構造と強度  
Structure and strength of cardboards

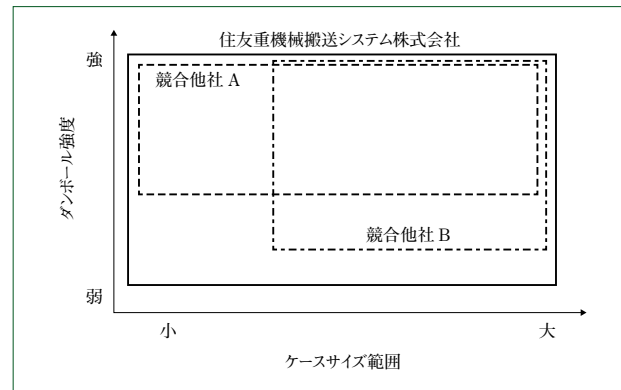
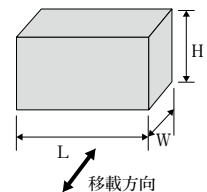


図5 扱えるケースの範囲  
Load handling capability

表1 ケースの仕様例  
Load specifications

客先	材質	商品	荷重(kg)			L(短手)(mm)		W(長手)(mm)		H(mm)	
			Min	Avg	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
客先1	ダンボール	ロール		25	35	220	470	260	570	68	460
客先2	ダンボール	ビール	2.4		25	200	390	239	500	80	466
客先3	ダンボール	飲料	1		25	205	364	230	487	92	409
客先4	ダンボール	食品	1	10	20	225	500	225	750	100	500
客先5	ダンボール	食品	0.4	10	25	175	380	250	580	70	500



する方式である。この方式は、サイクルタイムと格納効率が良いが、安定して移載を行うにはケースの形状および重量に制約があり、扱えるケースの自由度は低い。

(2) サイドクランプCV方式

両側からケースを挟みこみ、側面の摩擦によって移載する方式である。この方式は、横方向に隙間が必要なことから、格納効率は先端底面CV方式に劣る。また、ケースが弱い場合はへこんでしまう。この方式も扱えるケースの自由度は低い。

(3) リアフック方式

両側からアームを棚に出し、フックでケースを押すことによって移載を実現する。ケースを押す速度や加速度などを抑えることにより傷付けない移載が可能となるので、扱えるケースの自由度は高い。しかし、ケースを傷付けない低速移載の場合、サイクルタイムは遅くなる。

(4) フォークリフトアップ方式

ケース底面全体を持ち上げて移載する方式である。移載中は安定してケースを搬送できるが、フォーク幅が一定なので扱うケースのサイズ範囲が狭い。

3.4 取扱い荷物

表1に、客先別の取扱いケースの仕様例を示す。

ケースのサイズがさまざまであることから、従来の定型サイズ自動倉庫への保管はできない。

取扱いケースのほとんどはダンボール箱である。商品によってダンボール箱の材質は多様である。図4に、ダンボール

の構造(ライナー・フルート)と強度の関係を示す。ライナーとは、ダンボールの表裏に使用される原紙である。種類によって紙の強度が異なる。フルートとは、ダンボール板の種類であり、JISでは30cm当たりの波型の数や、規定された板の厚みによって種類分けされている。

軽い荷物用ダンボール箱の強度は、重い荷物用ダンボール箱の強度に比べ弱いため、傷付きやすく潰れやすい。弱いダンボール箱を扱う場合には優しく移載できる方式が必要とされる。

4 住友重機械搬送システム製のフリーサイズケース自動倉庫の特長

フリーサイズケース自動倉庫においては、扱えるケースの範囲、搬送能力(高速移載サイクルタイム)および格納効率の3つが重要評価項目である。

住友重機械搬送システム製のフリーサイズケース自動倉庫は、次の特長を持つ。

(1) 扱えるケースの範囲が広い

図5に示すように、広い範囲でケースのサイズや、ダンボール箱の強度に対応できる。

(2) ケースを傷付けない高速移載が可能

最弱と想定されるダンボール箱でも、傷付けずに優しく取り扱い、かつ高速移載できる移載方式を開発した。5章でその移載方式の詳細を述べる。

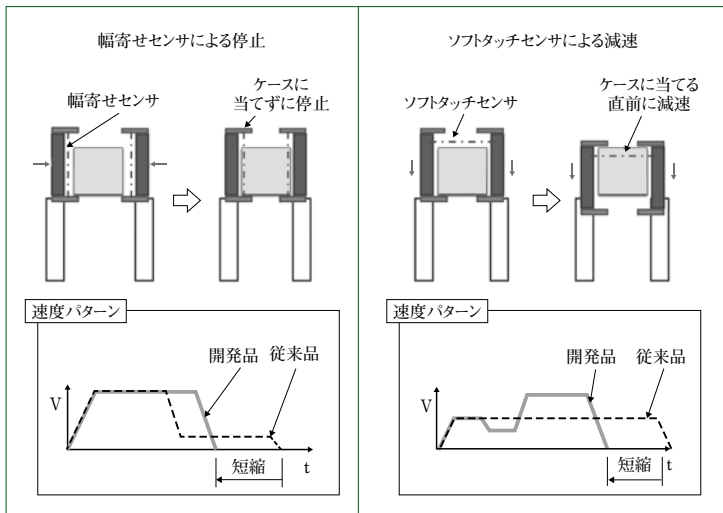


図6 移載方式の特長  
Feature of transfer methods

## 5 ケースを傷付けない高速移載制御方式

### 5.1 移載方式の特長

3.3で紹介した移載方式のなかで、今回はリアフック方式を採用した。この方式は、扱えるケースの自由度は高いが、ケースを傷付けないように速度を落とすとサイクルタイムが遅くなるという欠点を持つ。ケースを傷付けないまま、いかにサイクルタイムを短縮するかということがポイントである。

#### (1) 幅寄せ動作時のサイクルタイム短縮

図6左に示すように、幅寄せセンサを用いて最適速度パターンにより幅寄せ動作の時間を短縮した。また、ケースと接触しないので傷付けることも避けられる。

#### (2) ケース押当て動作時のサイクルタイム短縮

押当て動作とは、ケースの引込み時または払出し時に移動させる動作である。図6右に示すように、ソフトタッチセンサを用いて、ケースへの押当て動作時に最適な速度パターンによりケースへの衝撃を低減でき、さらに、サイクルタイムを短縮した。

### 5.2 最適なケース押当て動作

押当て動作において、ケースとの接触時の速度、加速度、接触後の加速度、トルクリミットなどの制御パラメータが傷の程度やサイクルタイムに関係する。

数々の検証テストを行い、独自のアルゴリズムによりそれぞれの制御パラメータの最適値を特定することができた。特定された制御パラメータの最適値の融合によって押当て動作を最適化し、ケースに対する優しい動作に加えて、高速移載も実現した。

最適化された押当て動作を、本報ではソフトタッチ動作と呼ぶ。

### 5.3 ソフトタッチ動作の検証テスト

#### (1) 最悪条件の整理

ダンボール箱の強度、ケースの重量、ケース底面と棚との摩擦係数、ケースのずれ角度などは傷の発生と深い関係がある。ダンボール箱と棚間の摩擦係数は通常約

表2 ソフトタッチ動作検証テスト  
Soft-touch-movement verification test

ケース押当て動作	傷		押当て動作時間	
	写真	評価	測定値	評価
ソフトタッチ動作 (開発品)		◎	約1秒	○
一定速押当て動作 (従来品)		×	約1.3秒	△

0.3であるが、ホットメルトがケースの底面に付く場合、摩擦係数は大きくなる。ケースのサイズとセンサの検出位置によって、ケースの最大ずれ角度を計算した。ダンボール箱の強度はライナーとフルートで決まる。ライナーがC5でフルートがシングルB段のとき、ダンボール箱は最弱となる(図4)。最悪条件を整理すると、次の①～④に分類される。

- ①摩擦係数 最大係数(ホットメルト時の測定値)
- ②ケースのずれ角度 最大角度(計算値)
- ③ダンボール箱の強度 最弱(C5, シングルB段)
- ④ケースの重量 最大重量(想定値)

検証テストは、この最悪条件を固定して行った。

#### (2) 検証テスト結果

表2に、ケース押当て動作におけるソフトタッチ動作と一定速押当て動作のテスト結果を示す。ソフトタッチ動作の場合、ほとんど傷が付かないだけでなく、従来より動作時間を短縮できた。

## 6 むすび

- (1) 今回は、汎用性の高い(ケースの重量、サイズ、ダンボール箱の強度において取り扱うことができる範囲が広い)移載方式を採用し、格納効率を向上させ、荷物に優しい高速移載を実現した。
- (2) フリーサイズケース自動倉庫の市場は今後も大きくなると予想される。本報で紹介した移載方式以外にも、それぞれの特長を生かした移載方式を提案できるようにラインナップの充実を図っていく。

# 重錘油圧式 200m<sup>3</sup> グラブ浚渫船

Counter Weight Balanced Hydraulically Operated 200m<sup>3</sup> Grab Dredger

● 真 鍋 篤\*  
Atsushi MANABE



浚渫船「五祥」  
Grab dredger "GOSHO"

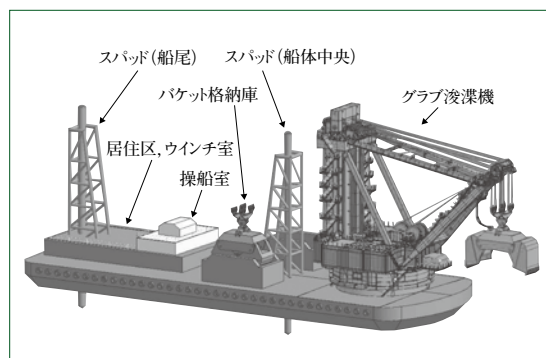


図1 全体配置  
General arrangement

## 1 はじめに

海底から土砂をすくい上げる浚渫(しゅんせつ)船は、主に港湾や航路の深度確保および拡幅工事に使われる。

本船は、株式会社小島組に2000(平成12)年3月に納入した大型グラブバケットを有する重錘油圧昇降式グラブ浚渫船である。近年の港湾などの大深度化工事に対応すべく、2015(平成27)年1月より改造工事を始め、2016(平成28)年1月に竣工した。

本報では、改造工事を終えた200m<sup>3</sup>グラブ浚渫船「五祥」を紹介する。

## 2 概要

五祥は、船首部に690t吊りグラブ浚渫機、浚渫機の直後(船体中央)と船尾に2本のスパッドを装備し、船尾側にウインチ室、居住区および操船室を配置している(図1)。

浚渫機は、油圧バケットを備えた電気と油圧の併用式であり、旋回ローラパス上に車輪で支持された旋回フレーム、機械室、ジブ、Aフレームおよび重錘フレームによって構成されている(図2)。旋回フレーム上には、油圧ポンプユニット、ウエイト昇降設備、旋回装置、受電設備および運転制御設備が搭載されている。

五祥のバケットで一度につかめる土砂は最大200m<sup>3</sup>であり、10tトラックで40台分に相当する。吊上げ能力は最大690tで、浚渫船のなかでも世界最大級の船である。また、今回の改造工事で、海面下揚程を30mから18m増やして48mとした。この揚程を実現すべく浚渫機の機械室後方には、ドイツで製作した世界最大級の油圧シリンダ(ギネスブック申請中)を備えている(図3)。直径約1.3m、最大伸長約46mにも及ぶ。

## 3 主要仕様

船体部および浚渫機部の主要仕様を次に示す。

### (1) 船体部

・長さ	100m
・幅	36m
・深さ	6m
・満載吃水	約3.6m

### (2) 浚渫機部

・型式	電動油圧旋回式
・巻上げ能力	690t
・作業半径	31m
・浚渫深度(最大)	48m
・水面上揚程	10m
・巻上げ速度	空中 0.758m/s 海中 1.075m/s
・巻下げ速度	0.905m/s
・バケット閉口時間	26s
・バケット開口時間	18s
・回転速度	0.6r/min
・回転角度	±155°
・バケット容量(最大)	200m <sup>3</sup>
・バケット自重	370t

## 4 特長

### (1) 巻上げ設備

バケットの巻上げ・巻下げには、グラブバケットとカウンタウエイトをバランスさせた重錘油圧式機構を採用している。簡単に言えばエレベータに似た機構である。一般的にグラブ浚渫船は、バケットと土砂を直接ウイ



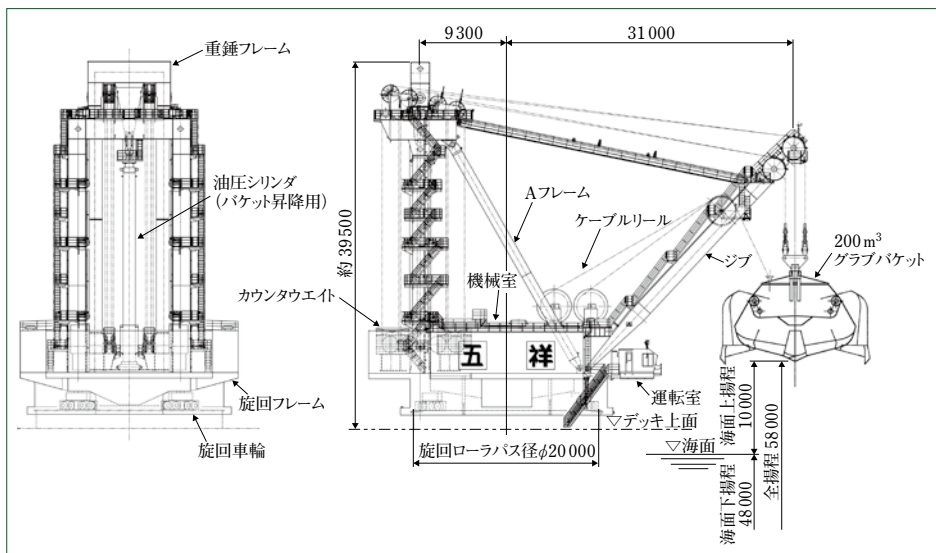


図2 浚渫機部  
Dredging machine part



図3 油圧シリンダ  
Hydraulic cylinder



図4 グラブバケット水中測位システム  
Grab bucket underwater positioning system

ンチにて巻き上げる方式で、浚渫機には必ずカウンタウエイトを備え、機体の安定を保っている。五祥では、カウンタウエイトを上下動に利用してバケット自重とバランスさせ、土砂質量分のみを油圧にて引き上げている。これにより駆動力を抑えることができ、省エネ運転を可能にした。

(2) グラブバケット

バケット内に電動機駆動の油圧ポンプ設備とオイルタンクが備えられ、油圧シリンダを伸縮させることによりバケットの開閉が行われる。バケットシェル先端には強固な爪が装着されており、強力な油圧駆動のつかみ力により硬土盤浚渫が可能である。

(3) 水平掘削

グラブバケットの開度により、バケットの刃先が上下移動する。この移動量に応じて昇降用油圧シリンダを上下させ、バケットの刃先を水平に移動させることにより水平掘削となる。このように自動制御による無駄のない掘削を行っている。

(4) 自動運転機能

本機は、旋回方向に多分割された位置で順次自動旋回・停止を繰り返し、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枠とグラブバケット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。

(5) 歩行式スパッド

五祥は、歩行式スパッドを有するアンカーワイヤレス

方式を採用しており、作業時占有面積が小さいことから、航路においても他船の通行の障害になることなく浚渫作業を行うことができる。また、操船には補助船を必要としない。

2本のスパッドを有し、1本は船尾に固定式で設置され、もう1本は船体のほぼ中央に移動式で設置されている。船体移動(前進)は、中央のスパッドの先端を操船ウインチで引っ張ることによって行われる。スパッド操作による船体の1回の前進量は、最小でも浚渫幅に相当する15m以上を確保しており、浚渫時の船体移動に伴うロスタイムを最小に抑えている。

(6) 運転室

浚渫機の運転室は旋回台前部に設置され、バケットの開閉、巻上げ・巻下げ、旋回など、浚渫作業に必要な制御器と操作監視機器が備えられている。

運転室は広く運転視界を十分に確保し、長時間運転にも適した居住性を確保している。

(7) 施工管理システム

浚渫機運転者に対し、リアルタイムで海底の浚渫状況を与え、高能率の浚渫を可能にしている。

監視機器には、船上操船室と結ばれた海底地形モニター、潮汐補正機能を持つ掘削深度計および掘削位置表示器、故障表示モニターなどが備えられ、高品質・高効率で安全な施工の実現に貢献している。また、グラブバケット水中測位システムを取り入れ、海中でのグラブバケットの状態が監視できる(図4)。

5 おわりに

今回紹介した浚渫船五祥は、2000(平成12)年の納入以降、国内および海外の多数の港湾工事に携わってきた。今回の改造工事でリニューアルされ、世界の海でのさらなる活躍が期待されている。

最後に、本船の改造工事に当たり、ご指導とご協力をいただいた株式会社小島組および関係者各位に対し深く感謝申し上げます。

# RTGの遠隔自動システム

## Remote Automatic System of RTG

●小林 雅人\*  
Masato KOBAYASHI



遠隔自動RTG  
Remote automated RTG

### 1 はじめに

住友重機械搬送システム株式会社は、2015年10月に三菱重工マシナリーテクノロジー株式会社の産業用クレーン事業と統合した。この統合により、当該事業の一連の技術を承継した。本報では、その技術の一つであるコンテナターミナルにおける遠隔自動システムの概要およびこのシステムを実現させた要素技術について解説する。

これに先立ち三菱重工マシナリーテクノロジー株式会社での同技術の取組みについて沿革を述べる。

コンテナターミナルの遠隔自動システムとは、トレーラなどのヤード内水平搬送機器とのコンテナの受渡しにより、コンテナヤード(蔵置エリア)へのコンテナの仮置きおよび払出しを行う無人の自動トランスファクレーンを中心としたシステムである。世界初と言われているロッテルダム港(デルタ)では、1993年に供用が開始された。その後、徐々に普及が進み、これまでに世界で約35ターミナルが遠隔自動システムを導入し、1100台以上の自動トランスファクレーンが存在すると言われている。

この自動トランスファクレーンのほとんどは、実現が容易なレール軌道上を走行するRMG(Rail Mounted Gantry crane)によるものであるが、三菱重工マシナリーテクノロジー株式会社は、世界に先駆けてタイヤ駆動式のRTG(Rubber Tyred Gantry crane)の自動化を実現し、2005年12月に名古屋の飛島ふ頭南側コンテナターミナルに納入後、現在まで安定した運用を継続している。

これまで世界に納入されてきたトランスファクレーン台数は、8000台以上に及ぶと推定され、RTGはこのうちの8割程度を占めている。RMGの多くが自動化されたこともあり、RTGの自動化に対する需要が急速に高まりつつあり、三菱

重工マシナリーテクノロジー株式会社ではHongkong International Terminals Limitedの既設他社製RTGにレトロフィットのかたちで遠隔自動システムを納入し、2015年7月の初号機から現在まで9台が供用運用を開始した。このように商用運転への適が確認されたことにより、残り20台の改造が今後順次実施される予定となっている。

### 2 遠隔自動システム概要

RTGの遠隔自動システムの基本運用において、蔵置エリア内のコンテナの搬送は、人手を介さない完全自動運転でなされる。有人トレーラとのコンテナ受渡し部分のみ、コンテナヤードから離れた管理棟の運転手が遠隔手動運転を実施する。RTGの遠隔自動システムは、ターミナルシステムからの搬送指示にもとづき自動搬送を実施するが、必要に応じて管理棟の遠隔操作卓にクレーン側のカメラ映像を映して、運転手に遠隔手動運転を促す。運転手の操作が完了すると自動運転を再開し、遠隔操作卓は解放されカメラ映像は消える。

このように、運転手はコンテナ搬送の一部のみを担当する。また、各遠隔操作卓は、作業要求の発生状況に応じてヤード内いずれのRTGとも接続可能であることから運転手の配置を最適化できる。名古屋のシステムでは水平搬送機器に無人自動搬送台車(AGV)が導入されており、この場合すべての運転は自動となり、運転手の介入はなくなる。

### 3 RTGの遠隔自動化のポイント

タイヤ式のRTGの遠隔自動化をレール式のRMGに比べて難しくしている主要なポイントは、吊り具の位置検出精度の確保と無線での大量データ伝送の必要性にある。

位置検出精度に関しては、要求される±30mm程度の積付け精度の実現に向けてmm単位で吊り具と積付け先コンテナとの相対位置を検出する必要がある。一般にRTGが走行するヤードは、レールに比べて走行路面傾斜のばらつきが大きく、これにタイヤ変形の要素が加わることからRTGのガードの地面に対する位置や角度の計測精度の確保が難しく、旧来のエンコーダ値とスプレッドの振れ量の積算から求める計測値では要求精度を満たせない。

一方のデータ伝送に関しては、遠隔操作用のカメラ映像の伝送は、画面確認が可能となる画素数を設定して、伝送に必要となる通信量を実効帯域で確保できれば可能である。しかし、一般的な無線LAN設備ではRTGのような屋外の移動体でこれを実現することは困難である。

そのほか、タイヤ式のRTGでは、走行路に沿って直進走

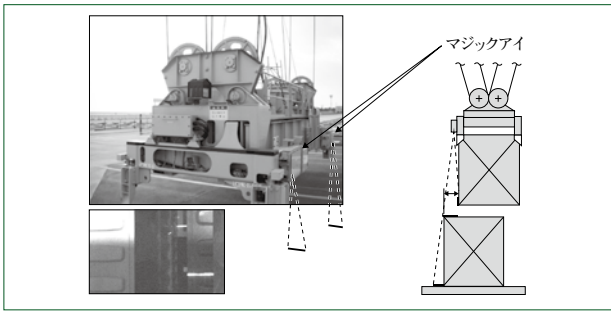


図1 マジックアイ  
Magic eye

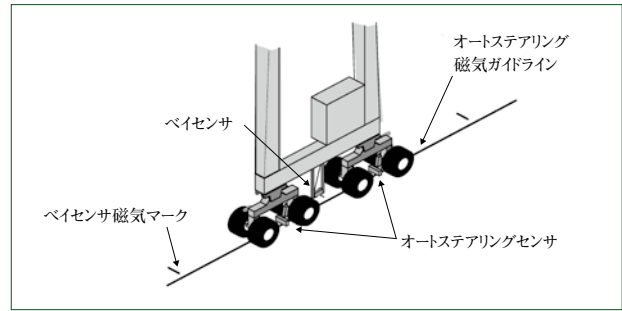


図3 走行位置決め用磁気センサ  
Magnet sensor for gantry positioning

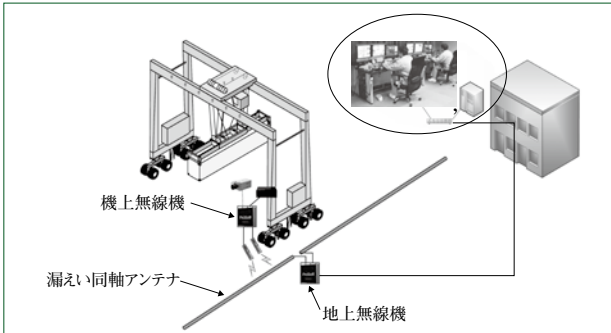


図2 漏えい同軸ケーブル (LCX) 無線LAN  
Leaky Coaxial cable (LCX) wireless LAN

行させる走行位置と停止位置の精度もサイクルタイムに関わる重要なポイントとなっている。

## 4 遠隔自動化の要素技術

RTGの遠隔自動化の実現に寄与している主要な要素技術を次に紹介する。

### 4.1 マジックアイ

吊り具の相対位置検出装置マジックアイを開発し、搭載している(図1)。マジックアイはレーザ光の反射を画像処理して吊りコンテナと積付け目標コンテナ間のずれ量を計測している。レーザスキャナのようなデータ通信による時間遅れもないことから、安定してmm単位精度の検出を実現できている。なお、コンテナのない1段目の着床時には、地上に配置したマーク板のカメラ映像を画像処理することで地面との相対位置を計測している。そのほか、マジックアイに電動RTG用に配置される蔵地エリア近接のバスバーを検出させ、衝突防止機能用のセンサとしても利用している。

### 4.2 漏えい同軸無線通信

自動制御および遠隔操作に必要な管理棟側とRTG間のデータ伝送にはEthernet LANを利用している(図2)。ポイントとなる無線部には、地上局側のアンテナに漏えい同軸ケーブルを適用した無線機を用いることで、各蔵置レーンで安定した実効帯域でのデータ伝送を実現している。

漏えい同軸アンテナの適用により電波の範囲を絞れるので、各レーンで同じ無線チャネルを利用できる。また、アンテナ間の相対位置がほぼ一定となるのでRTG稼働全領域で安定した通信を実現することができた。

### 4.3 オートステアリングセンサおよびベイセンサ

蔵置エリア内での走行位置と停止位置の高い精度が余分な

走行動作や横行動作の発生を防ぎ、サイクルタイムに関わる重要な要素技術となる。この停止精度の実現に必要な走行位置の検出精度を得るべく磁気センサを採用している(図3)。

オートステアリングセンサは、文字どおり直線走行制御に利用しているが、RTGの地面に対する横行方向の停止位置ずれの計測にも利用している。このセンサは、走行レーンに沿って埋設した磁気バーのガイドラインを磁気センサで検出して軌道からのずれを検出する。

また、RTGの地面に対する走行方向の位置は、短い磁気バーを各蔵置スロット(ベイ)に走行路に対して90°傾けて配置し、磁気センサ側もオートステアリングセンサの向きから90°回転させて設置している。これらのセンサ検出精度は、GPSを適用したシステムに比べて高い検出精度を実現している。また、GPSのように衛星や電波の状況などの外的要因によらず、応答性の良い安定した検出を実現している。

## 5 おわりに

少なくとも2015年時点においては、名古屋地区に納入したRTGの遠隔自動システムが世界で唯一の商用運用への適用を実現していた。成否は不明であるが、その後、インドネシア、中国などでも自動RTGのプロジェクトが立ち上がってきている様子である。RMGに比べて圧倒的に数量の多いRTGの自動化は、技術の進歩とともに将来的に急速に普及が進んでいくと予想される。

今後もRTGの遠隔自動システムのパイオニアとして、単に自動化の実現だけでなく、その取扱いがより簡易になるよう機能を強化して普及に貢献していきたい。

(参考文献)

- (1) Container Terminal automation (PEMA)
- (2) 5<sup>TH</sup> ANNUAL YARD CRANE SURVEY GLOBAL DELIVERIES 2015 (PEMA).
- (3) 世界の港湾の荷役状況, 港湾荷役, vol.61, no.4, 2016.



# 通信販売業界向け出荷荷揃えシステム

## Shipping Assort Systems for Mail-order Business

●西前 健司\*  
Takeshi NISHIMAE



図1 マトリクスアソートシステム概観  
Outlook of matrix assort system

### 1 はじめに

著しい成長を続ける通信販売業界では、近年、低価格化競争が進むなか、売上げに対する物流コストの比率が増大し、この削減が課題となっている。

物流コストは、物流センター内での人件費、保管費および物流センターから注文主までの配送コストに大別される。

住友重機械搬送システム株式会社は、これまで通信販売業界に数多くの物流センターシステムを納入してきており、システム機能と物流コスト削減効果に対し、顧客から高い評価を得ている。

本報では、ピッキング作業を行うアクティブフェイスピッキングシステム(AFPS)と、注文主単位に商品を自動荷揃えするマトリクスアソートシステムを中核とし、物流センター内の人件費の大幅な削減と出荷リードタイムの短縮を実現した物流センターの出荷荷揃えシステムを紹介する。

### 2 出荷荷揃えシステムの特長

図1にマトリクスアソートシステムの概観を、図2に入荷から出荷までの物流センター内のフローを示す。

複数商品を購入した注文主の商品は300オーダーを1バッチ単位として集約ピッキングされ、マトリクスアソートの30本のシュートに10オーダー単位に自動仕分けされ、各シュート端で10方面=1オーダー単位に自動で2次仕分けされる。出荷荷揃えシステムの主な特長を次に示す。

(1) バッチ単位にピッキングされた商品は、いったんAFPSに保管され、マトリクスアソートでのバッチ進捗

状況に応じてタイムリーに自動供給される。

- (2) マトリクスアソートの直前には、AFPSより供給された商品をバッチ別にバッファするコンベヤが設置され、商品供給遅れによるマトリクスアソートの稼働ロスを生じさせない。
- (3) マトリクスアソートでは、従来、人手で行っていた注文主単位への商品荷揃え作業を自動仕分けすることにより、大幅な作業工数削減と作業時間短縮・出荷リードタイム短縮を実現する。
- (4) マトリクスアソートの各シュート端で、2次仕分けを行うことにより、シュート数を削減し、省スペースを実現する。
- (5) 2次仕分けに当たっては、衝撃がなく、高い収納密度で商品をコンテナ内へ投入する自動投入機が設置され、物流センターで取り扱う多様な商品に対応できる。
- (6) マトリクスアソートで取り扱えない商品および1コンテナ内に納まらない商品は、配分エリアにて先行して手仕分けおよび梱付けを行い、マトリクスアソートにより払い出されたコンテナに対して自動でマッチングを指示する。

### 3 マトリクスアソートシステムの特長

マトリクスアソートシステムを構成する優れた機能の一部を紹介する。

マトリクスアソートは、高能力仕分け機、30本のシュートとシュート端で10方面仕分けを行う自動投入機および次工程の出荷検品と、コンテナを循環させるコンベヤラインで構成

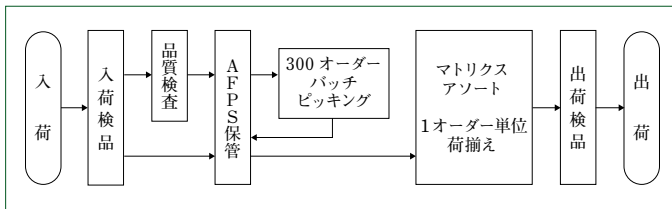


図2 センター物流フロー  
Logistics center material flow



図4 シュート概観  
Outlook of chute

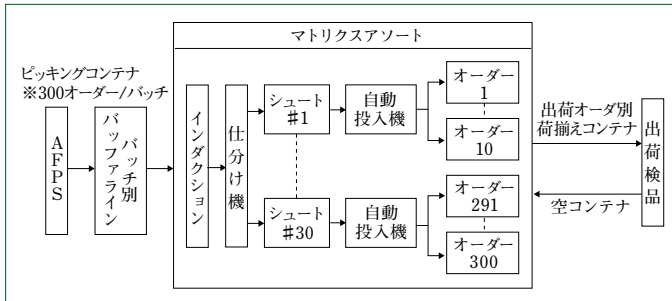


図3 マトリクスアソートシステム構成  
Matrix assort system general configuration

される(図3)。

- (1) 本システムは、1時間当たり約10000点の自動仕分けを行うクロスベルトソータを中核として構成され、従来の手仕分け作業に比べて作業生産性が大幅に向上し、出荷までのリードタイムを短縮することができる。
- (2) マトリクスアソートへのバッチの供給および払出しは、入荷から出荷までの物流センター庫内作業と在庫を管理するWMS(Warehouse Management System)および、自動化設備をコントロールするWCS(Warehouse Control System)により制御されており、作業者はバッチを意識することなく作業を行える。
- (3) 商品投入部まで自動供給されたコンテナから商品を取り出し、商品に貼付された商品バーコードをスキャンして、ソータ上へ手載せするだけで自動仕分けが行えることから、初心者でも容易に作業できるシステムとなっている。

また、自動化により、従来の目視で行っていた手仕分け作業に比べて仕分け精度が大幅に向上している。

- (4) 300オーダー/バッチの商品荷揃えに当たり、従来は300シュートが必要であったが、本システムでは各シュート端で10方面の2次仕分けを行うことで、ソータのシュート数を30本としている。このことによりソータ本体機長を短くでき、省スペース化を実現している。

10方面の2次仕分けは、自動投入機が左右列(2方面)へシフトし、シュート下コンベヤのコンテナが5ポジションへ移動することにより実現している(図4)。

- (5) ソータ本体は水平ベルト払出し方式、シュートおよび自動投入機はベルト搬送方式となっており、従来の自重落下方式の荷揃えシステムと比較して商品への衝撃が少なく、多様な形状や特性の商品に対応が可能である。
- (6) 自動投入機のベルトコンベヤ部は、受込み・払出し動作以外に傾転・伸縮動作を行う。伸縮の元付け部に取り付けられた距離限定物体検出センサで、コンテナ内の商

品収納具合を検出し、傾転角度と伸縮ストロークをコントロールする。これにより、ベルトコンベヤがコンテナ内の商品と干渉することがなくなるとともに、コンテナ内の商品充填率を高めている。

また、ベルトコンベヤ部は、商品払出動作と後退動作を同時に行う際に、払出し速度を後退速度より若干速めている。このことにより、商品はコンテナ内縁に軽く押し付けられながら投入され、コンテナ内にきれいに積層可能であり、次工程の出荷検品作業を容易にしている。

- (7) 注文主単位に荷揃えされた商品入りコンテナは、コンベヤを経由して自動で出荷検品工程へ供給される。また、出荷検品工程で発生した空コンテナも自動で本システムまで回収されることから、コンテナの横持ち作業が不要となっている。

## 4 おわりに

- (1) これまで培ってきた通信販売業界における豊富なシステム構築技術と運用ノウハウにより、顧客の要望に応えられる出荷荷揃えシステムを構築した。
- (2) マトリクスアソートの導入により、従来の手仕分け作業に1時間を要していたバッチ仕分けが10分に短縮され、出荷リードタイムの短縮とともに、仕分け作業の生産性が大幅に向上した。

消費者の低価格指向、商品の多様化および消費者との対話のスピードアップという社会背景のなか、物流コスト削減を要望する顧客のニーズに対し、より高度なシステムを提供していく所存である。

※「マトリクスアソート」、「アクティブフェイスピッキングシステム」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。



# 対面フェイスピッキング自動倉庫システム

## Side-face Picking Automated Storage and Retrieval System

●西前 健司\*  
Takeshi NISHIMAE



図1 アクティブフェイスピッキングシステム(AFPS)概観  
Outlook of active face picking system (AFPS)

### 1 はじめに

著しい成長を続ける通信販売業界では、近年、消費者ニーズの多様化に応えるべく販売促進媒体がカタログからWEBへ移行し、販売展開商品のアイテム数が増大する傾向にある。

従来のアイテムとピッキングロケーションが1:1対応する固定フェイス方式では、アイテム数が増えた分だけピッキングエリアを拡張する必要があり、倉庫スペース不足やピッキング歩行距離増大に伴う生産性の低下が課題となっている。

また、消費者の注文から商品が手元に届くまでのリードタイムも、通信販売業界では顧客満足度の向上への重要な要素となっている。

多品種のアイテムを取り扱う物流センターでは、1アイテム当たりのピッキングフェイスのスペースを小さくすることで品ぞろえに対応しているが、これには在庫保管エリアからピッキングフェイスへの補充工程が必要となることから、補充時間の短縮が課題となっている。

本報では、パケット式自動倉庫の棚をピッキングフェイスとして使用し、棚から直接ピッキング作業を行うことで、ピッキングエリアの省スペース化、生産性の向上および出荷リードタイムの短縮を実現した物流センターのアクティブフェイスピッキングシステム(AFPS)を紹介する。

### 2 AFPSの特長

図1にAFPSの概観を、主な特長を次に示す。

- (1) 高層化された自動倉庫の下3段をピッキングフェイス(フェイス棚)として使用し、この3段にピッキングに必要な商品を陳列して不要な商品は上方の段(リザーブ

棚)に置かれる。

入荷から出荷までの物流センター庫内作業と在庫を管理するWMS(Warehouse Management System)および、自動化設備をコントロールするWCS(Warehouse Control System)により、ピッキング進捗状況をリアルタイムで管理し、不要となった商品をリザーブ棚へ移動して、空となったフェイス棚へ必要な商品をタイムリーに陳列する(図2)。

このことにより、多品種の商品取扱いに対し、ピッキングエリアの省スペース化を実現するとともにピッキング歩行距離が短縮でき、生産性の向上が可能となる。

- (2) リザーブ棚は、多品種の品ぞろえ対応のみならず在庫保管エリアとしても使用され、商品補充を短時間で行うことにより、出荷リードタイムの短縮を実現する。
- (3) ピッキング作業には無線ハンディターミナルを使用し、フェイス棚ロケーション、商品および数量が指示される。ピッキングの際に商品1個ずつに貼付されたバーコードラベルをスキャンすることにより、高いピッキング精度を実現する。  
また、無線ハンディターミナルは、作業の流れに沿った音声ガイダンスにより、初心者でも容易に作業することができるシステムとなっている。
- (4) AFPSは、本センターではピッキングの次工程となるオーダー別商品仕分けへのタイミングバッファとしても使用される。作業者は、バッチ単位にピッキングした商品の入ったコンテナをいったん空のフェイス棚へ入庫登録する。次工程の進捗状況に応じて多数台設置されたAFPSから一斉に自動供給されることから、センター管理者のバッチタイミングコントロールは不要となる。

### 3 AFPSの構成要素の特長

AFPSを構成する優れた機能の一部を紹介する。

AFPSは、コンテナを搬送するスタッククレーン、コンテナを保管する棚および前後工程と連結するコンベヤラインで構成される。

#### 3.1 高能力フェイス入替え

AFPSは、ピッキング作業者にフェイス棚での商品供給待ちを生じさせることなく短時間で商品入替えを可能とすべく、次に示す特長を有する。

- (1) スタッククレーンは、コンテナ移載を行うシャトルを2台搭載したツインシャトルタイプを採用している。シ



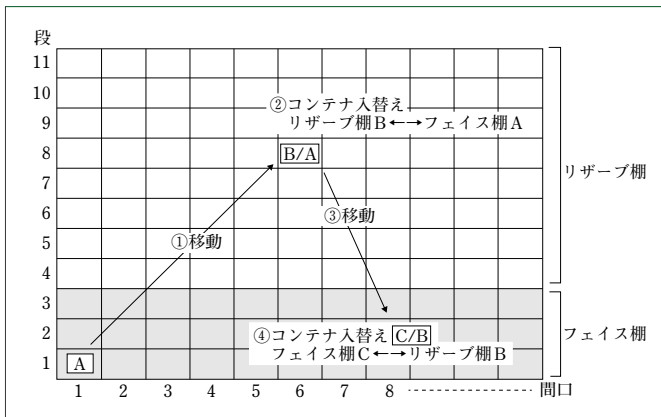


図2 コンテナ入替え動作フロー  
Container exchange motion flow



図4 フェイス棚概観  
Outlook of picking face

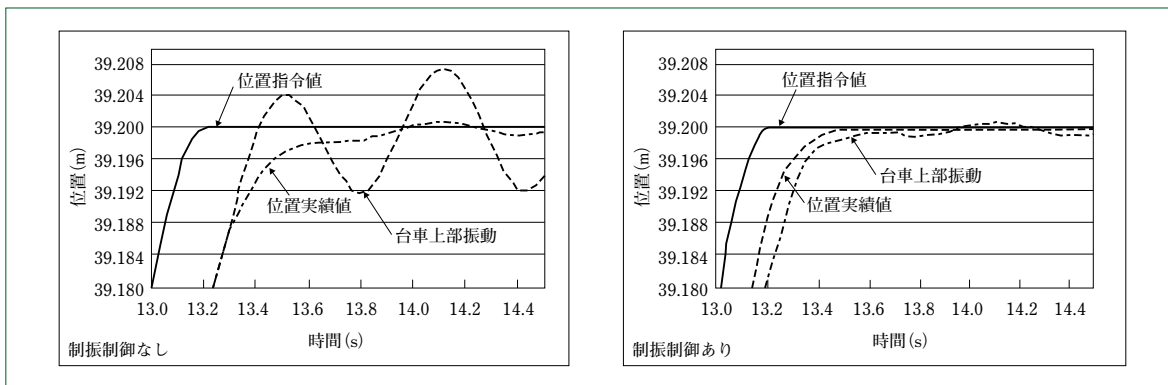


図3 位置応答波形  
Response waveform by position control

ャトルAでリザーブ棚よりフェイス棚へ移動させるコンテナを取り出し、入替え対象のフェイス棚まで移動した後、シャトルBで不要となったコンテナをフェイス棚より取り出し、シャトルA上のコンテナを空となったフェイス棚へ入庫する。この動作を繰り返すことにより、フェイス入替え動作中はスタッククレーンが常時コンテナを搬送する状態となり、短時間で入替えを実現する。

(2) 従来、スタッククレーンはインバータ制御されており、停止位置精度を確保すべく低速域を必要とし、また、走行停止時のマスト揺動によりシャトル移載動作開始までの待ち時間が必要であった。本システムでは、各駆動系にサーボモータを使用するとともに、マストの振れ止め制御を実装することにより、理想的な台形状の速度カーブを実現し、動作サイクルタイムを大幅に短縮できる(図3)。

### 3.2 ピッキング作業への安全対策

AFPSは、自動倉庫棚より作業者が直接ピッキングを行う際の安全確保を可能とすべく、次の特長を有する。

(1) シャトルが突出するスペースに対し、作業員側に前カバーを取り付け、手を入れられない構造としている。シャトルがフェイス棚より取出し中のコンテナに手をかけても、前カバーとの間に挟まれないように、前カバーは長穴で上側へ逃げる構造となっている。

また、作業者が手前下へコンテナを引き出した際に、上段で動作中のシャトルと干渉しないようにコンテナ押

さえを取り付けてある(図4)。

- (2) スタッククレーンは、動作中にはメロディーフォンとパトライトを作動させ、ピッキング作業員に対し注意喚起を促している。
- (3) フェイス棚の全長にわたりロープが張られており、引き下げることで、設備の作動はただちに停止する。

## 4 おわりに

- (1) これまで培ってきた通信販売業界における豊富なシステム構築技術と運用ノウハウにより、顧客の要望に応えられるピッキングシステムを構築した。
- (2) 従来は受注の翌日に出荷し、翌々日に消費者の手元に届いていたが、AFPSの導入により、昼12時までの受注は、当日出荷・翌日配送するまでに出荷リードタイムが短縮された。

消費者ニーズの多様化、消費者との対話のスピードアップという社会背景のなか、物流コスト削減・出荷リードタイム短縮を要望する顧客の声に対し、より高度なシステムを提供していく所存である。

※「アクティブフェイスピッキングシステム」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 FB0.9～3.5t

## New Battery Forklift FB0.9-3.5t



新型バッテリー式フォークリフトFB0.9～3.5tは、長時間稼働、旋回時の安定性および安全装備の充実をコンセプトとしてモデルチェンジしたものである。

ECOモードや旋回トルク制御の採用により、従来車比で最大2時間の稼働時間延長を実現した。また、旋回速度制御により、旋回時の荷崩れを従来車比で1/4に低減することができた。さらに、コンパクト車の新規設定およびバッテリー横引き仕様の車種充実を図り、さまざまな顧客の用途に応えられるようにした。

### 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)	14km/h
上昇速度(無負荷時)	635mm/s
上昇速度(全負荷時)	450mm/s
全長(フォーク付き)	3045mm
全幅	1070mm
ヘッドガード高さ	2070mm
ホイールベース	1410mm
車両重量	2890kg
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) 安心の長時間稼働

旋回制御の採用、回生機能の強化、油圧機器の効率改善などにより、1.5t車の標準モードで8.5時間稼働を実現した。さらに、ECOモードを使用することにより、最大9.5時間稼働を実現した。ECOモードは立上りの加速特性を標準モードと同じとし、走り出しのスムーズさやストレスのない作業性を確保している。

#### (2) 旋回時の荷崩れ減少

車速およびタイヤ角に応じて旋回時の速度・トルクを自動制御する旋回速度制御を採用することにより、従来車と比べ旋回時の荷物ズレ量を1/4まで抑えることが可能となった。さらに、ハイマウントトレイルアクスル・ロングホイールベースの採用により、旋回時の安定性を向上させた。旋回速度制御により旋回時のオペレータにかかる加速度も減少することから、作業時の疲労低減にも貢献している。

#### (3) 安全装備

急旋回・急発進・急制動時など「急」な危険操作時にブザーを鳴らし、オペレータと周囲に知らせる危険運転警報に加え、シートベルトをしていないと走行・荷役ができないインターロック機能をオプション装備として準備した。そのほか、パーキングブレーキ警報やスロープスピードリミットの安全機能を標準装備とした。

(住友ナコフォークリフト株式会社 村上 智)

T/PAPERS  
論文・報告





# 高周波プラズマ数値シミュレーション技術開発

## The Development of Numerical Simulation for Radio Frequency Plasma Source

●宮下 大\* 越智 秀太\*\*  
Masaru MIYASHITA Syuta OCHI



図1 住友重機械工業グループにおけるプラズマを用いた装置  
Applications using plasma in SHI

高周波プラズマ源は、高密度・低金属コンタミのプラズマ源として期待されている。新装置を設計すべく、我々は現実的な時間で高周波プラズマ源中のシース電圧波形を計算できる新しいモデルを開発した。このモデルでは、プラズマ中では電子の流体方程式、容器やカバー領域ではポアソン方程式、その不連続な境界面を半解析的なシースモデルにより取り扱う。計算されたシース電圧波形とスパッタリングレート、そしてイオンエネルギー分布関数モデルを用いてスパッタリングエッチ分布を見積もった。シミュレーション結果は、実験結果の傾向を定性的に再現した。

The Radio Frequency (RF) plasma source is expected to be the one with high plasma density and low metal contamination. To design a new device, SHI has developed a new model to calculate sheath-voltage waveform in the plasma source within a realistic computational time. This model specifies that the electron fluid equation is to be adopted in plasma, Poisson equation in the chamber and the cover, and semi-analytical sheath model in the discontinuous interface. The sputtering etch distribution was estimated using the sheath voltage waveform calculated by this model, the sputtering rate, and ion energy distribution function (IEDF) model. It has been confirmed that the simulation qualitatively reproduces the tendency of experimental results.

### 1 まえがき

住友重機械工業グループでは、放射線医療装置やイオン注入器といった加速器複合体のイオン源や、成膜装置など多くのプラズマを用いた製品を取り扱っている。

近年、計算機性能や計算技術の向上に伴い、産業界における数値シミュレーションが積極的に利用されている。特に、流体解析や構造解析といった技術は、設計プロセスに組み込

まれ必須の技術となってきている。しかしながらプラズマシミュレーションに関して言えば、荷電粒子の運動、電磁場および化学反応など多くの物理の連成問題であり複雑なことから、本質的に必要な3次元実機サイズの計算をすることができず、産業現場での応用といった側面においては黎明期といった印象である。

そんななか、我々は少ない時間で計算可能なモデルを独自に開発することにより、3次元実機サイズの計算が可能な技

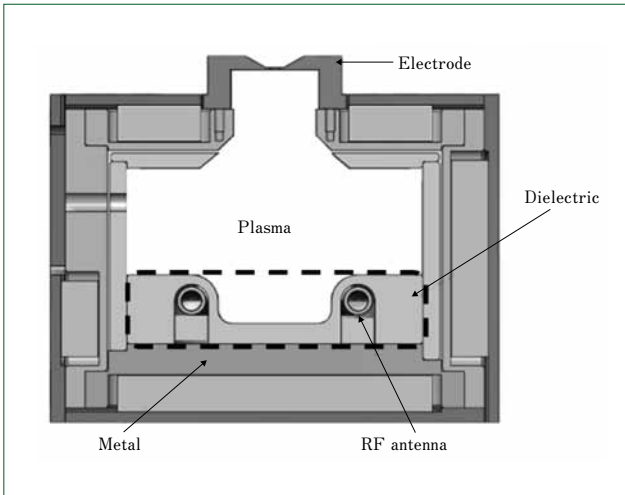


図2 高周波プラズマ源断面図  
Cross sectional view of radio frequency plasma source

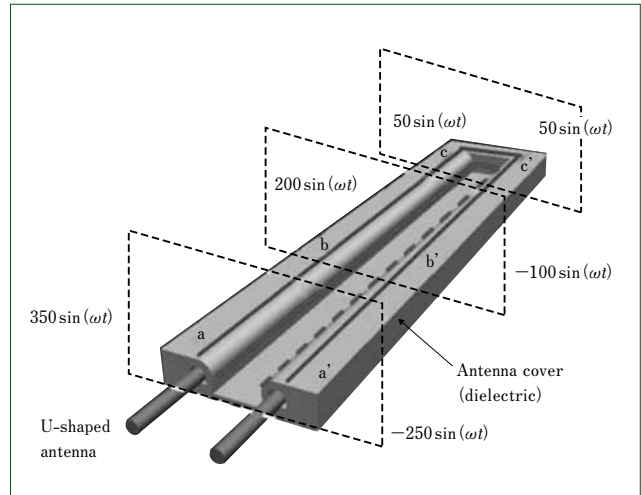


図3 高周波アンテナ概略と表面発生電圧  
Radio frequency antenna and generated voltage

術を開発した。これまで成膜装置を中心にプラズマのシミュレーションを行い、高エネルギーイオンの存在、自己誘導磁場の議論、ハースコイル電流依存性について論じてきた<sup>(1)(2)</sup>。また、計算の高速化技術として、メッシュ粗さを条件に応じて自動的に変更するアダプティブメッシュリファインメント技術を開発し装置設計に役立てている<sup>(3)</sup>。

今回は、フィラメント放電よりも金属コンタミが少ないと期待できる高周波プラズマ源に注目した。図2に装置断面図を、図3にアンテナの模式図を示す。アンテナに13.56 MHzの交流電力を加え、容器中にプラズマを発生させる。アンテナのスパッタによる金属コンタミを抑えるべく、アンテナは誘電体によりプラズマから絶縁されている。このようなプラズマ源では、プラズマの維持機構としてアンテナに発生する静電的な電場による通称E-modeと、アンテナを流れる電流により誘導される誘導電場によるH-modeが考えられる<sup>(4)</sup>。

これまで、商用ソフト2次元シミュレーションにより、プラズマの維持機構がH-modeであることおよびE-modeの影響について論じてきた<sup>(5)</sup>。しかしながら、奥行き方向に対して均一性を仮定した2次元シミュレーションであることから、パワーの過入力による計算の発散が発生し、3次元計算の必要性が明らかとなった。

そこで、この問題を解決すべく3次元実機サイズのシミュレーションを行う計算手法を開発した。この新モデルによる計算は、静電場計算、誘導電場計算、プラズマシミュレーションとの連成からなり、本報では特に静電位分布の計算について紹介する。誘導電場とプラズマシミュレーションとの連成については別途報告する<sup>(6)~(9)</sup>。

## 2 モデリング & 数値解法

次に電磁場について述べる。電場はスカラーポテンシャルφとベクトルポテンシャル $\vec{A}$ を用いて次のように示すことができる。

$$\vec{E} = -\nabla\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \dots\dots\dots (1)$$

特に、クーロンゲージの導入によりφは静電位の意味をなすので、第1項目は止まった電荷が作る静電場、第2項目は動く電荷の作る誘導電場に分解することができる<sup>(10)</sup>。

図4左に静電場によって電子に吸収されるジュール損失分布、図4右に誘導電場によって電子に吸収される誘導加熱分布を示す<sup>(5)</sup>。

静電場は、誘電体容器とプラズマの間に発生するシースと呼ばれる薄い領域で遮蔽され、内部まで浸透する誘導電場によってプラズマが維持(H-mode)されていることが確認できる。従来手法では、誘電体容器とプラズマの境界層であるシースを分解するには5メッシュ程度必要とされている。また、プラズマ領域をポアソン方程式で取り扱う場合、デバイ長程度の数倍の長さ(mmオーダー)でメッシュを切らないと物理的に妥当性に欠ける解になることが知られており、これらのメッシュ数の増大が3次元シミュレーションを困難にしていた。

これに対応すべく計算に必要なメッシュ数を削減させる新しいモデルについて次に紹介する。

### 2.1 境界面問題

シースはごく薄く数100 μmオーダーであり、誘電体領域やプラズマ領域を分割するメッシュサイズ(数10mmオーダー)に比べて十分に短いシースを境界面における不連続な面としてモデル化することができれば、境界面問題としてシースを分解するのに必要なメッシュ数を削減できる。図5に、境界面問題の設定を示す。ここでは領域1が誘電体容器領域、領域2がプラズマ領域に対応している。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \{-A_i \nabla u\} &= f \text{ in } \Omega_i (i=1,2) \\ u &= g_D \text{ on } \partial\Omega_D \\ -A \nabla u &= g_N \text{ on } \partial\Omega_N \dots\dots\dots (2) \\ u|_1 - u|_2 &= S_D \text{ on } \Gamma \\ -A_{1n} \nabla u|_1 - A_{2n} \nabla u|_2 &= S_N \text{ on } \Gamma \end{aligned}$$

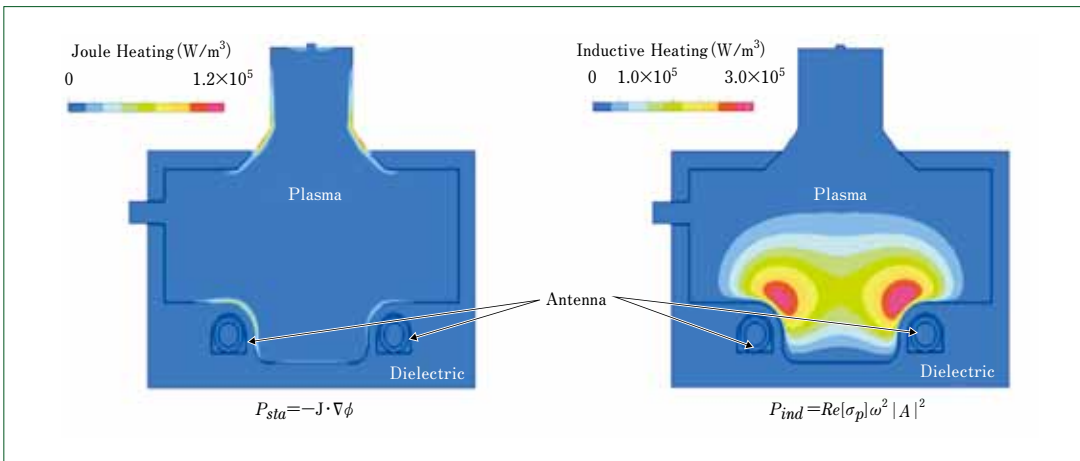


図4 吸収電力比較<sup>(5)</sup>  
Absorption power<sup>(5)</sup>

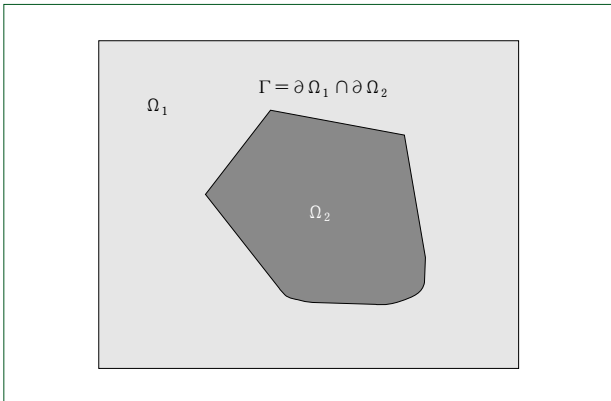


図5 境界面問題  
Interface problem

ここで $A_1$ は誘電率、 $A_2$ は電子拡散係数行列である。通常のディレクレ条件 $g_D$ およびノイマン条件 $g_N$ のほかに境界面上 $\Gamma$ の値のジャンプ $S_D$ と微分値のジャンプ $S_N$ を課す。

### 2.2 ハイブリッド型不連続ガラキ法 (HDG法)

境界面問題において、連続関数を近似関数の候補にする通常の有限要素法では、ジャンプ条件を正確に取り扱うことはできない<sup>(1)</sup>。そこで我々は、境界面問題を取り扱うことのできる数値計算方法を独自に開発した<sup>(2)(3)</sup>。ここでは、アダプティブメッシュリファインメントの技術開発に用いたハイブリッド型の不連続ガラキ法を改良することで対応した<sup>(4)</sup>。

計算式は、体積積分 $\langle \cdot, \cdot \rangle_{K_h}$ 、表面積分 $\langle \cdot, \cdot \rangle_{\partial K_h}$ 、パラメータ $\kappa$ とメッシュサイズ $h_K$ を用いて次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Find } \vec{u}_h = (u_h, \hat{u}_h) \text{ s.t. } B_h(\vec{u}_h, \vec{v}_h) &= F_h(f, \vec{v}_h) \quad \forall \vec{v}_h \\ B_h(\vec{u}_h, \vec{v}_h) &= \langle A \nabla u_h, \nabla v_h \rangle_{K_h} + \langle A_n \nabla u_h, \hat{v}_h - v_h \rangle_{\partial K_h} + \langle A_n \nabla v_h, \hat{u}_h - u_h \rangle_{\partial K_h} \\ &\quad + \langle \kappa (\hat{u}_h - u_h) / h_K, \hat{v}_h - v_h \rangle_{\partial K_h} \quad \dots (3) \\ F_h(f, \vec{v}_h) &= \langle f, v_h \rangle - \langle S_N, \hat{v}_h \rangle_{\Gamma} - \langle S_D, A_n \nabla v_h \rangle_{\Gamma} - \langle \kappa S_D / h_K, \hat{v}_h - v_h \rangle_{\Gamma} \end{aligned}$$

式(3)は、任意のベクトル $v_h$ に対して問題を満たす $u_h$ を探しな

さいとの意味である。ただし $F_h$ と $B_h$ は問題の右辺と左辺である。

$F_h$ の2項目から4項目がジャンプ条件である。ジャンプ条件の考慮は、いわゆる通常のHDG法の湧出し項の変更だけで済む。

有限要素法の数学的な妥当性の議論は、関数解析を用いて行われる。若干抽象的な表現であるが、解の存在や一意性を示すには都合が良い。計算方法に合わせて適切なノルムを導入して、収束性や精度の議論を行った<sup>(3)</sup>。図6に、用いたメッシュを示す。境界にもメッシュを設けることにハイブリッド型不連続ガラキ法の特徴がある。メッシュ内部上は $u_h$ を用いて、境界メッシュ上では $\hat{u}_h$ とする。

開発したスキームの数学的な妥当性の証明と、数値実験の後にコード開発を行うように変更したことで、数値計算の問題と物理の問題を分離できるようになった。このことから、開発期間を1/3程度に短縮することが可能になった。プラズマ数値シミュレーション開発においてモデリングと解法の開発はセットで現れることも多く、こういった開発体制はシミュレータ開発にとって有効であると考えられる。

### 2.3 シースモデルとイオンエネルギー分布

シースとプラズマからシースを介して壁面に到達するイオンエネルギー分布に関しては盛んに研究されている。今回シースモデルには、高周波と低周波領域を統合すべく、イオンがシースを横切る時間 $\tau$ の1次遅れを考慮した工学的なモデルを利用した<sup>(5)(6)</sup>。

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{dt} &= A - B \exp\left(-\frac{V}{T_e}\right) \\ \frac{d\bar{V}}{dt} &= -\frac{\bar{V} - V}{\tau} \quad \dots \dots \dots (4) \\ V &= \alpha(\bar{V}) \end{aligned}$$

ここで、 $t$ は時間、 $\sigma$ は表面電荷、 $V$ 、 $\bar{V}$ は実際のシース電位差とイオンが感じる電位差である。

$A$ 、 $B$ 、 $T_e$ はプラズマに応じた定数であり、 $\alpha(\cdot)$ は複雑な非線形関数になる。これらの方程式は、2変数の非線形方程式で記述される力学系と考えることができる。相図を用いた



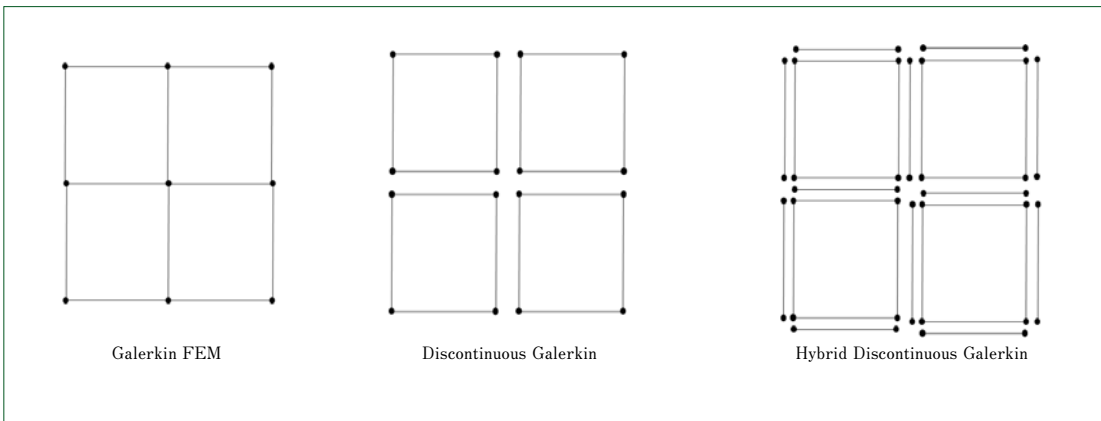


図6 Hybrid Discontinuous Galerkin法に用いられるメッシュ  
Hybrid Discontinuous Galerkin mesh

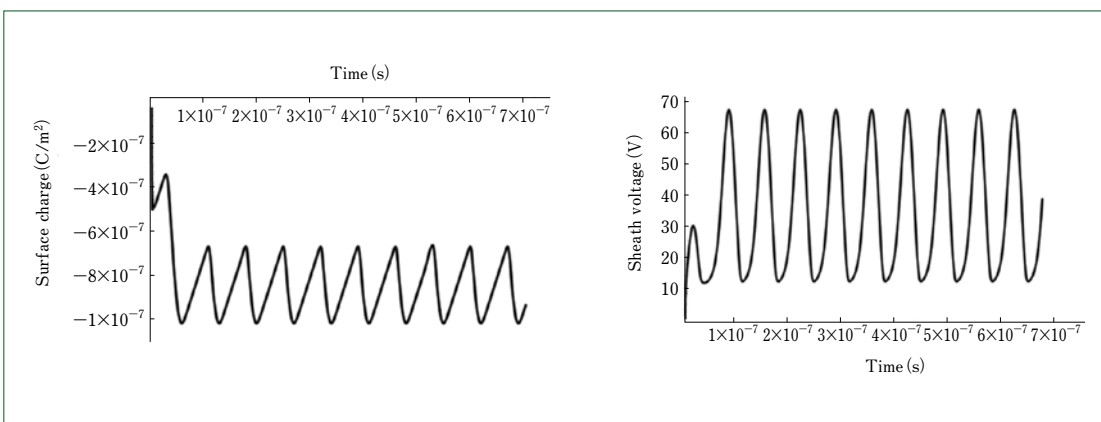


図7 典型的な表面電荷の時間発展と典型的なシース電圧波  
Typical surface charge evolution and typical sheath waveform

検討により、これまで不明であった異常な正電荷堆積による計算の発散現象を解明し、安定して動作する領域を示した<sup>17)</sup>。図7に、典型的な表面電荷とシース電圧の変化の計算結果を示す。値は過去の2次元シミュレーションによる計算結果と対応しており、有用なモデルと考えられる<sup>5)</sup>。イオンエネルギー分布に関しては、得られた電位波形をもとに今回低周波モデルを用いて見積もった<sup>18)</sup>。

### 2.4 スパッタリングモデル

スパッタリングエッチレートは、イオンのスパッタリングイールド $Y(E)$ とイオンエネルギー分布 $F_i(E)$ およびそのフラックス分布 $\Gamma$ と、ターゲット側の密度 $N$ が分かれば見積もることができる。スパッタリングイールドは、世界中の研究機関の公開データベースから取得できる。図10に、計算に用いたスパッタリングイールドを示す。

$$\text{Etch rate} = \int_0^{\infty} \Gamma F_i(E) Y(E) dE / N \dots\dots\dots (5)$$

イオン流束 $\Gamma$ は、シース振動周期よりも $\tau$ が短い場合は定数とみなせる。今回電子密度は一定とし、変化しないと仮定してエッチングレートと提案手法の妥当性を検証した<sup>18)</sup>。

### 2.5 計算条件概略

図8に、計算モデルの断面図を示す。アンテナには図3に対応した電圧を印加する。過去の結果を参考にプラズマ電子密度が $10^{17} \text{ m}^{-3}$ 程度になるように投入電力を調整し、新しいモデルの妥当性を評価した<sup>5)</sup>。

## 3 計算結果と議論

図9に、電位の計算結果の断面図のスナップショットを示す。不連続を可視化すべくz軸に電位の値をとっている。プラズマと誘電体領域の間に電位の不連続が確認できる。この不連続がシース電位差である。アンテナの電圧が下がっているときにアンテナ付近に大きな電位降が発生し、アンテナから離れた領域では、通常のシース電圧である数V程度が発生していることが確認できる。

図10に、計算したシース電位降下波形の情報をもとに算出したイオンのエネルギー分布を示す。スパッタの閾値は40 eV程度であり、アンテナの表面電位が200 V以上の領域からスパッタが始まることがこの結果から予想できる。

図11に、スパッタリングエッチ分布の実験シミュレーション比較を示す。a, a' といった給電側で相対的にスパッタエッチレートが大きいといった実験結果の傾向を再現している

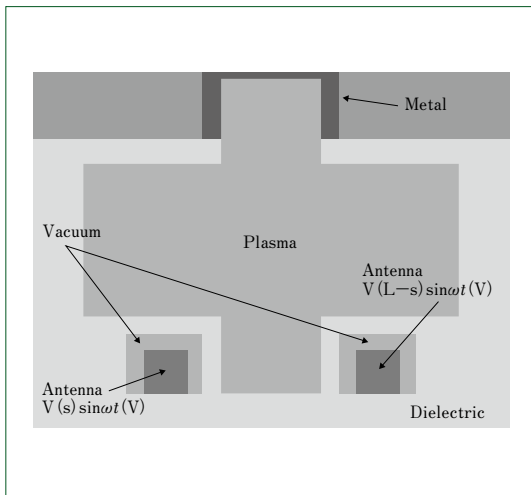


図8 計算モデル断面図  
Cross sectional view of calculation model

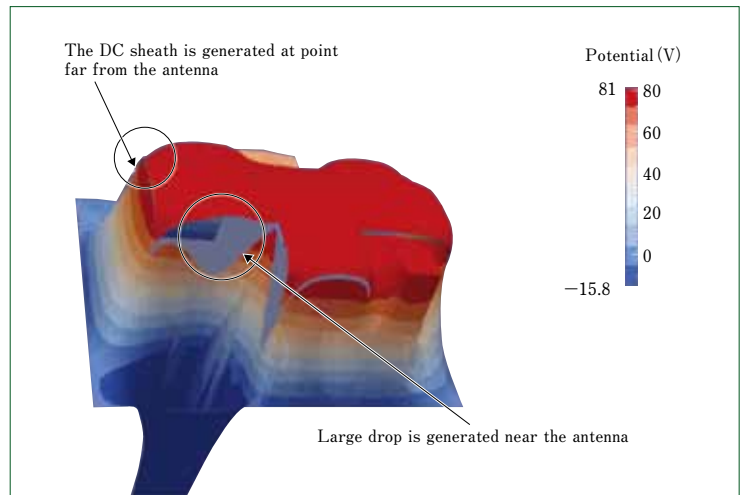


図9 断面図の静電位分布のスナップショット(z軸:静電位)  
Cross sectional view of electric potential distribution (z axis : electric potential)

ことが分かる。また、アンテナをキャパシタにより浮かしていることから非対称放電になっていることが分かる。しかしながら、勾配が緩やかに評価されている。これらはイオンエネルギー分布に低周波モデルを用いたことによると考えている。開発したモデルでシース電圧波形を計算できるので、さらに精密なモデルを用いることが可能となる<sup>19)</sup>。現在検討中であるが、シミュレーション結果の給電側のスパッタリングエッチレートが相対的に大きくなると予想される。

#### 4 今後の展望

これまで経験と勘を頼りに行われていた開発が、シミュレーション技術により高精度に開発の方向性を示すことができるようになる。また、モデリングからモデルの数学的特性の調査、解析手法の開発およびその数学的妥当性の証明、コーディング、新装置形状の提案、実験結果の評価を通して行うことで柔軟なサポートを可能にしている。

設計支援ツールという意味では現象の解明および大まかな設計指針の提案という段階であるが、現在、最適化技術やグラフィカルユーザーインターフェースも並行して開発しており、より細やかな設計支援ツールに成長させていく予定である。今後の展開が楽しみである。

#### 5 むすび

- (1) 今まで、静電位を計算しようとする膨大なメッシュ数を必要とするという理由で困難であった3次元実機サイズの計算を、プラズマと容器の境界領域をシースモデルにより連結した境界面問題を取り扱う技術の開発によって、静電位の影響を考慮した3次元実機サイズ計算が可能になった。
- (2) シースモデルの特性を事前に調査することで、モデルが安定して動作する領域を事前に確認した。物理の問題と数値計算の問題を切り離して開発を進めることで手戻りを減らし、開発期間を1/3に短縮させることができた。
- (3) 境界面問題を取り扱うべくハイブリッド型不連続有限

要素法の計算手法を開発した。計算方法を開発するだけでなく、事前に数学的な議論をした後、解の存在や精度のコーディングを行った。

- (4) 開発したモデルを用いてシミュレーションを行った。シミュレーション結果のスパッタリングエッチレート分布と実験結果の比較は定性的に一致した。
- (5) 現在、シミュレーション結果をもとに実機で試験中である。

最後に、プラズマ源モデルの開発に当たり慶応義塾大学の畑山明聖教授、数理的な議論に関しては東京大学の齊藤宣一准教授、また、ベクトルポテンシャル計算技術や大規模並列計算に関しては日本女子大学の金山寛特任教授および諏訪東京理科大学の杉本振一郎助教に、長期にわたる議論をさせていただいたことに対して感謝の意を表す。また、紙面の都合上すべてを列挙することはできないが、航空宇宙をはじめプラズマ核融合、プラズマプロセス、数値解析、複雑系、最適化数理など、幅広い分野にわたる多くの研究者からの有益なアドバイスと議論に対し、多大なる感謝の意と敬意を表す。

#### (参考文献)

- (1) M. Miyashita, et.al., Frontier of Applied Plasma Technology, Plasma Simulation of Reactive Plasma Deposition Equipment using Three Dimensional Hybrid PIC/MCC method, 5(2012), p. 79.
- (2) 宮下大ほか, プラズマ数値シミュレーションの産業応用, 応用数理(インダストリアルマテリアルズ), 25(3), 2015, p. 120~124.
- (3) M. Miyashita, et. al, The Development of Adaptive Mesh Refinement Technique for Hybrid Kinetic/Fluid Plasma Simulation, ICNSP2015, Extended abstract, 2015, p. p.1-5.
- (4) Pascal Chabert, et. al., Physics of Radio-Frequency Plasmas, Cambridge University Press, 2011.
- (5) M. Miyashita, et. al, 2D-Combined ICP/CCP numerical modeling for RF plasma source, GEC2015, Abstract, 2015, KW-3. 5.
- (6) 宮下大ほか, プラズマ存在条件下の誘導電場計算技術の開発, SEAD28講演論文集, 2015, 20B4-4.
- (7) 宮下大, プラズマ存在下における誘導電場の時間調和解析, CMD2015, 講演予稿集, 2015, OS07-1 233.

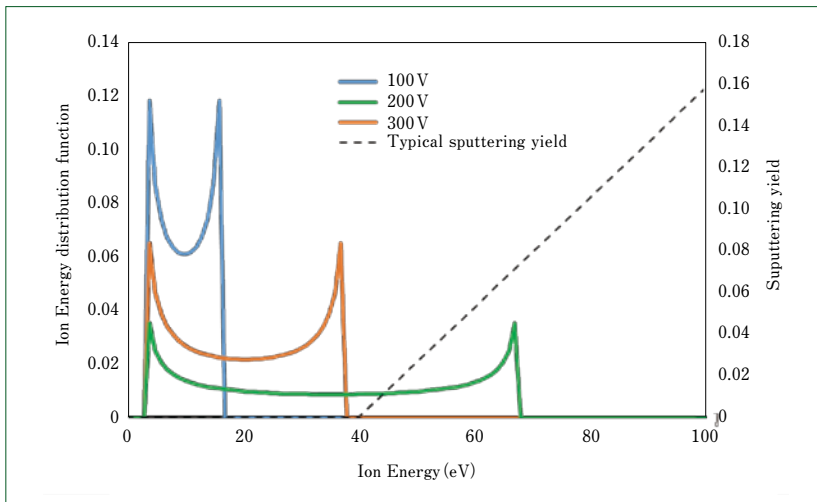


図10 イオンエネルギー分布(低周波数近似)とスパッタリングイールド  
Ion energy distribution function (low frequency approximation) and typical sputtering yield

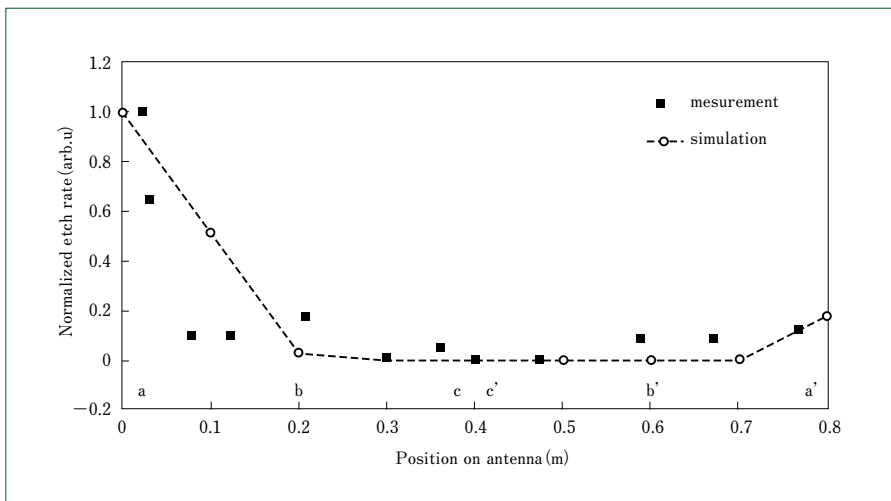


図11 スパッタリングエッチレート分布の実験シミュレーション比較  
Sputtering etch distribution

- (8) 宮下大, 誘導結合プラズマ問題におけるネドレック要素と接点要素の比較, CMD2016, 講演予稿集, 2016.
- (9) 宮下大, 2D-combined ICP/CPP numerical modeling for RF plasma source, PUCA2015, 講演予稿集, 2015.
- (10) J. D. Jackson, Classical Electro Dynamics, 3rd edition, WILEY, 1999.
- (11) M. J. Grapperhaus et. al., A semianalytic radio frequency sheath model integrated into a two-dimensional hybrid model for plasma processing reactors, J. Appl. Phys., 81(1997), p. 569.
- (12) 宮下大, プラズマ数値シミュレーション技術の産業装置への応用, RIMS (現象解明に向けた新展開), 講演予稿集, 2015.
- (13) 宮下大, 楕円型界面問題に対するハイブリッド型不連続Galerkin法, 第12回応用数学会連合発表会, 講演予稿集, 2015.
- (14) M. Miyashita et. al., Hybrid Discontinuous Galerkin Methods for Anisotropic Diffusion Equation, FEF2015 at Taipei, extended abstract, O-012, 2015.
- (15) M. E. Riley, Unified Model of the rf Plasma Sheath, Sandia Report SAND95-0775, UC-401, 1995.
- (16) E. Kawamura, Ion energy distributions in rf sheaths; review, analysis and simulation, Plasma Sources Sci. Technol. 8 (1999), R45-R64.
- (17) M. Miyashita, Discontinuous model with semi analytical sheath interface for radio frequency plasma, GEC2016, Abstract MW6., 2016, 00077.
- (18) 宮下大ほか, プラズマ物理における高周波シースモデルの数値的特性調査, 応用数学会年回, 講演予稿集, 2016.
- (19) Alan C. F. Wu et. al., A method for computing ion energy distributions for multi frequency capacitive discharges, J. Appl. Phys. 101, 2007, 056105.



---

## 住友重機械技報第192号発行に当たり

---

住友重機械技報第192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。

2017年1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 - 2358	(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192号の送付先の確認と読後感などの件**

<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 _____ 〒 _____ <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">必要部数 _____ 部</div>
----------------------------------	---

<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



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

