

## 巻頭言

人に近い, 人に優しい設備を目指して

清家康彦

## 搬送物流設備小特集

|       |                                    |                       |    |
|-------|------------------------------------|-----------------------|----|
| 論文・報告 | 食品汎用センター庫内管理システム                   | 齋藤信也, 待井紀彦            | 1  |
|       | 機械式駐輪設備 サイクルパークの開発                 | 大柴茂, 渡辺浩三, 前野博司, 大迫広司 | 5  |
|       | コンテナターミナルトータルソリューション (sNEXT.. の開発) | 山野内和樹, 森田明, 森真史       | 9  |
|       | バケットエレベータ式連続アンローダの予防保全システム         | 伊藤義和, 大北義明            | 13 |
|       | モバイルハーバークレーン走行駆動方式の最適化             | 庄福勝美, 大北義明, 吉田史郎      | 17 |
|       | ゴライアスクレーンの連続建造                     | 河原直行                  | 21 |
| 技術解説  | 高機能フィルムロール用クリーン搬送システム              | 長部洋介                  | 25 |
|       | ロープトロリ式橋形アンローダの半自動運転               | 西山範之                  | 27 |
|       | 新0.9 - 3.5 tエンジン車の作業性向上            | 千藤隆                   | 29 |
| 新製品紹介 | ロールフィッター                           |                       | 31 |
|       | ピッキングカート                           |                       | 32 |
|       | 動く歩道                               |                       | 33 |
|       | 機械式駐輪設備                            |                       | 34 |

## 論文・報告

|  |                          |                                  |    |
|--|--------------------------|----------------------------------|----|
|  | 次世代高輝度X線源の開発             | 中條晃伸, 柳田達哉, 酒井文雄                 | 35 |
|  | 29T強磁場科学用ヘリウムフリー超電導マグネット | 石塚正之, 伊藤智幸, 櫻庭順二, 淡路智, 西島元, 渡辺和雄 | 39 |

## 技術解説

|  |                           |           |    |
|--|---------------------------|-----------|----|
|  | 耐圧防爆モータ用インバータ HF-320 シリーズ | 伊藤勲, 合原一孝 | 43 |
|--|---------------------------|-----------|----|

On Publishing Special Section of Material Handling Equipment & System

Yasuhiko SEIKE

## Special Section of Material Handling Equipment & System

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| T/PAPER      | Warehouse Control System of Dry Food Distribution Center for Multiple Customers<br>Shinya SAITOH, Norihiko MACHII               | 1  |
|              | Development of Mechanical Bicycle Parking Facility“ CYCLE PARK ”<br>Shigeru OSHIBA, Kouzou WATANABE, Hiroshi MAENO, Kouji OSAKO | 5  |
|              | Container Terminal Total Solution (Development of sNEXT.. )<br>Kazuki YAMANOUCI, Akira MORITA, Masafumi MORI                    | 9  |
|              | Preventive Maintenance System for Bucket Elevator Type Continuous Ship Unloader<br>Yoshikazu ITOH, Yoshiaki OHKITA              | 13 |
|              | Optimization of Steering System for Multi-axle Mobile Harbor Crane<br>Katsumi SHOFUKU, Yoshiaki OHKITA, Shiro YOSHIDA           | 17 |
|              | Serial Construction of Goliath Cranes<br>Naoyuki KAWAHARA   | 21 |
| T/INVITATION | Clean Material Handling System for High Functional Film<br>Yosuke OSABE   | 25 |
|              | Semi-automatic Operation for Rope-trolley Type Unloader<br>Noriyuki NISHIYAMA   | 27 |
|              | Productivity Enhancement of New 0.9 - 3.5 t ICE Truck<br>Takashi SENDO  | 29 |
| NEW PRODUCT  | Roll Fitter   | 31 |
|              | Picking Cart  | 32 |
|              | Moving Walkway  | 33 |
|              | Mechanical Bicycle Parking Facility   | 34 |

## T/PAPER

|   |    |
|---|----|
| Development of High-brightness X-ray Source for Next Generation<br>Terunobu NAKAJYO, Tatsuya YANAGIDA, Fumio SAKAI  | 35 |
| Cryocooler-cooled Superconducting Magnet for 29 T High Field Science<br>Masayuki ISHIZUKA, Tomoyuki ITOU, Jyunji SAKURABA, Satoshi AWAJI, Gen NISHIJIMA, Kazuo WATANABE | 39 |

## T/INVITATION

|   |    |
|---|----|
| Inverter HF-320 Series for Flame Proof Motor<br>Isao ITO, Kazutaka AIHARA | 43 |
|---|----|

搬送物流設備小特集号の発行にあたって

人に近い，人に優しい設備を目指して

専務執行役員 清 家 康 彦



当社の搬送物流製品は、アンローダやトランスファークレーンなどの港湾荷役設備，ゴライアスクレーンやジブクレーンなどの造船所の設備，自動倉庫やAGVなどのFA設備，さらにはフォークリフト，動く歩道などの幅広い分野にわたっています。当社は，早くからこれらの装置，設備に最先端のエレクトロニクス技術を用いて，強力にメカトロ化を進めてきました。この結果，高度なセンシング技術や制御技術を結合した石炭や鉱石を船から自動荷役する連続式アンローダや鉄のコイルを自動搬送する天井クレーンを，早くから実現し数多く納入しています。さらに，これら設備を計算機システムで統括管理することにより，多数のAGVが工程間搬送を行う工場全体のFA化や高度に管理された大型配送センターを提供し，お客様の物流システムの合理化に貢献してきました。また，空きスペースを最小にして収納効率を最大化するパズル式駐車場を，都心の高層マンションなどに数多く納入して，市民生活の利便性にも一役買っています。ここでも，コンピュータがパズルを解いて最短時間で入出車を実現しています。当社の搬送物流製品は，最先端のメカトロ製品でもあります。

これらの製品は，お客様の工場，設備で重要な役割を果たしていることから，万一トラブルが発生した場合，迅速な対応が絶対条件になります。ここでは当社のリモートメンテナンスシステムが活躍しています。高度にメカトロ化された製品としての特色を生かし，多くの既納装置が当社のメンテナンス部門と通信システムで接続され，お客様からの要請に応じて遠隔的に設備のトラブルの内容を把握し迅速な対応と復旧を行っています。加えて，部品寿命や異常の予兆を検知する予防保全のシステムも装置に付加して，トラブルの未然防止にも注力しています。

一方，地球環境保全への意識が高まる中で，当社はISO14001や地球温暖化防止の活動を全社を挙げて積極的に推進していますが，お客様に納入する製品の装置，設備にも合理化や効率化の提供に止まらず，環境保全の概念を既に反映しています。また，今話題のハイブリッド自動車と同様 エンジンの燃費改善や機械動力のハイブリッド化を行っており，環境に配慮した製品創りをますます推進していきます。

これからの物流製品の目指す方向を考えてみます。現在注目されている重要な学問分野の一つに，生物の優れた機能を積極的に工学分野に役立てることを目的としたバイオニクスや脳の仕組みを人工知能などへの応用にと目論むニューラルネットの研究，人の脳の指令で直接に機械の手足を動かす脳インターフェースの分野の研究があります。これらは，人体と機械との垣根をなくして，人や機械の機能を相互に補完，拡張する学問分野です。我々は，この分野が今後の機械装置に大きな影響を与えると予測しています。

近い将来，我々の提供する機械，装置は，ますます人に近い動きや判断ができ，より人に優しいものに進化していくでしょう。皆様の隣で，あたかも意志を持ったように振舞う，当社の搬送物流製品がお役に立っている日もそう遠くないと信じています。

# 機械式駐輪設備 サイクルパークの開発

## Development of Mechanical Bicycle Parking Facility “ CYCLE PARK ”

大柴 茂\* 渡辺 浩三\* 前野 博司\* 大迫 広司\*

Shigeru OSHIBA

Kouzou WATANABE

Hiroshi MAENO

Kouji OSAKO



図1 機械式駐輪設備 サイクルパーク  
Mechanical bicycle parking facility “ CYCLE PARK ”

近年、京都議定書に従って温暖化ガス対策を進めている国土交通省が、自転車の利用環境整備に取り組む自治体に対して支援を強化している。また、社会的問題として注目を浴びていることが多い放置された自転車への対策として、収容効率が高く、処理速度の速い機械式駐輪場への期待が高まっている。

このような状況の下で、機械式駐輪場に新規参入する企業が出始めており、当社も2004年度に機械式駐輪設備を独自に開発するに至った。

本報では、操作性、安全性および保守性を向上させ、高い処理能力と併せて収容効率を拡大した機械式駐輪設備 サイクルパークの特徴について報告する。

In order to promote the initiatives to reduce greenhouse gases according to the Kyoto Protocol, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport is strengthening its support for local governments to encourage the use of bicycles by providing the facilities for bicycle parking. The local governments want a mechanical bicycle parking facility with a high capacity and high speed handling capability. The facility will also solve the problem of leaving bicycles near railroad stations. The problem is usually one of complaints from residents, which is viewed as a social problem. Some companies have begun to enter the business of constructing mechanical bicycle parking facilities. Our company also developed its mechanical bicycle parking facility in 2004. This report presents the features of our bicycle parking facility “ CYCLE PARK, ” which has a high speed handling capability and high capacity with improved operability, safety and maintainability.

### 1 まえがき

近年、京都議定書に従って温暖化ガス対策を進めている国土交通省が、都市部を中心に5 km未満の短距離移動の手段を自動車から自転車に転換することを目指し、自転車の環境設備に取り組む自治体に対し補助金などの支援を強化している。

一方、駅周辺の駐輪場の数および収容能力は毎年拡大して

いるものの、利用率は必ずしも増えていない。

これは駅前などの利便性の高い用地の確保が困難なことなどから、自転車利用者にとって利便性の高い場所に駐輪場を設置することが難しい状況となっているからである。これが原因で、駐輪場が存在しても利用率が低くなり、その分、放置される自転車が增加する実態となっている。

この放置自転車の問題は年々深刻化しており、撤去などの対策費用は全国で1500億円(2000年度)に達している。

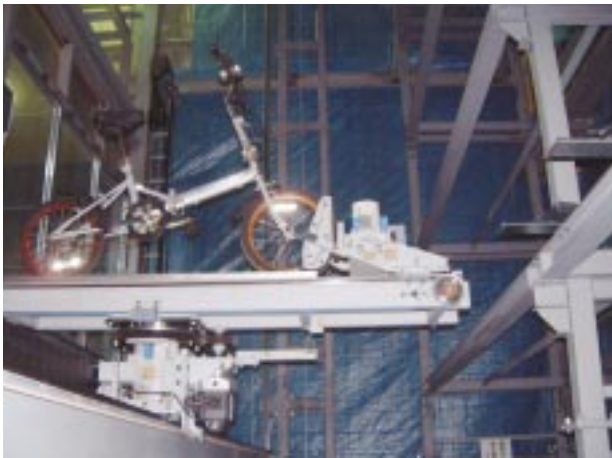


図2 直接ハンドリング方式  
Direct handling type

この対策として、公共施設周辺の建物への一定規模の駐輪場設置を義務化する、電鉄会社への費用負担要求を出すなど、わずかな面積で設置可能な機械式駐輪場の導入により、駐輪場の利用率を高め、放置自転車を減らそうとする取組みが、全国の自治体で活発化してきている。こうした背景が後押しとなり、2004年度以降、機械式駐輪場の導入計画が全国規模で増加している。

利用率の高い駐輪場を考える場合、その設置場所は必然的に利便性の良い駅前などの限られたスペースとなることが多く、機械式または機械式と自走式の併用となることが多い。通勤・通学のピーク時には、乗降部に利用者が集中することから、機械式駐輪場では高い処理能力が必要とされる。

利用者は定期利用および一時利用の不特定多数であり、取扱い対象の自転車も不特定となることが多い。機械式駐輪場に収容できない自転車は管理者の指示で自走式の駐輪スペースに駐輪する。収容可否の判断は管理者に委ねられることが多く、管理面での負担となっている。入出庫操作は、直接利用者が行う運用のものが多く、操作に不慣れな利用者も多いことから、操作がしやすく、安全で、管理負担の少ない機械駐輪場が望まれている。

本サイクルパークは、収容効率、処理能力、操作性および安全性に優れ、管理負担が少なく、高品質で魅力的な機械式駐輪設備を提供することを目的として開発した(図1)。

## 2 サイクルパークの特徴

### 2.1 機械式駐輪装置の主要仕様

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 方式   | 前輪直接ハンドリングによる方形方式     |
| 型式   | 格納部位置 地上、中間および地下の3タイプ |
| 乗降部数 | 1ヶ所/基(最大2ヶ所 オプション)    |
| 収容台数 | 288台/基(最大)            |
| 処理能力 | 入庫・出庫 約12秒/台          |
| 搬機仕様 | 昇降速度 3.7 m/s          |
|      | 走行速度 1.7 m/s          |
|      | 旋回速度 120 %s           |
|      | シャトル速度 2.6 m/s        |
|      | クランプ速度 83 %s          |
| 収容車種 | 一般自転車および電動アシスト自転車を収容可 |

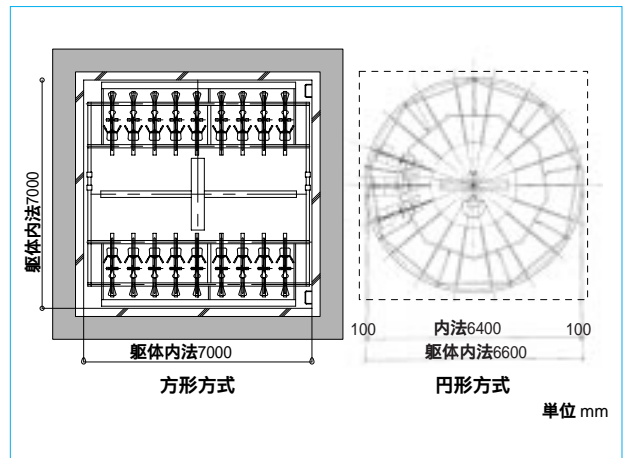


図3 格納部の方式  
Type of storing part

能(子供用自転車およびマウンテンバイクはオプション)

全 長 1900 mm未満

全 幅 600 mm未満

全 高 1200 mm未満

サ イ ズ 18~28 インチ(16インチはオプション)

タイヤ幅 20~35 mm(最大50 mm オプション)

前 カ ゴ 前面位置は前輪端面100 mm以上

後 カ ゴ 車体寸法内であれば制約なし(前カゴ、後カゴには子乗せカゴも含む)

重 量 30 kg以下

操作方式 IDカード

安全装置 音声案内 LED案内表示 安全フェンス 乗降部圧力センサ 侵入検知センサ 規格外車輛検出センサ(車長 車幅 車高) 重量測定装置(前・後) 車輪異常検出装置 地震検出センサ

### 2.2 ハンドリング方式の分類

自転車を搬送する方式には、自転車の前輪を直接搬機で掴んで搬送する「直接方式」と、自転車をセットしたパレットを搬機で掴んで搬送する「パレット方式」とがある。

直接方式では、前輪を直接ハンドリングすることから、車輪形状(径・幅・断面)の異なる自転車を確実に掴むことが難しい。しかし、パレット方式のようなパレット循環の必要性もなく、パレット本体の製作も必要ないことから、高速で安価な駐輪装置が可能となる。

サイクルパークでは前記理由で「直接方式」を採用している。この際、車輪形状の異なる自転車を確実に掴む機構の開発が必要となるが、「乗降部と格納部に設けた車輪側面のガイド機構」と「一定トルクで車輪をクランプするトルク制御」を用いることで解決している(図2)。

### 2.3 格納部方式の分類(図3)

自転車を格納する棚部の方式には、搬機が昇降・旋回可能で昇降路に放射状に棚部を配置した「円形方式」と、搬機が昇降、走行および旋回可能で帯状の昇降路に面して棚部を配置した「方形方式」とがある。

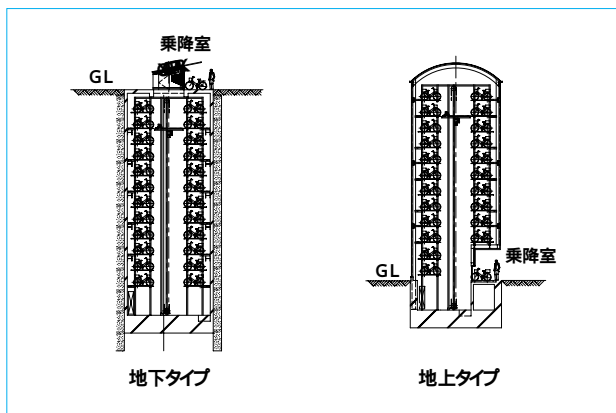


図4 格納位置の種類  
Type of storing position

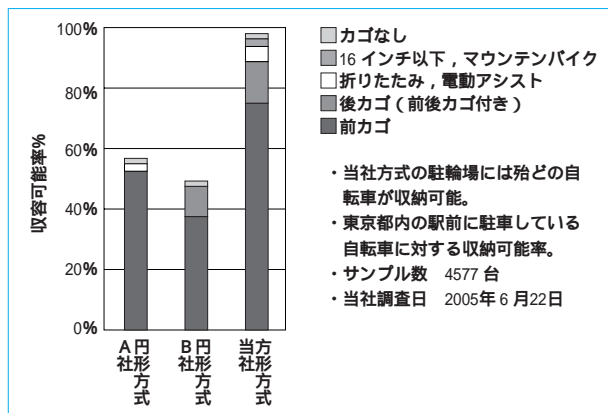


図6 機械式駐輪設備の収容可能率比較  
Accommodation comparison of mechanical bicycle parking facilities

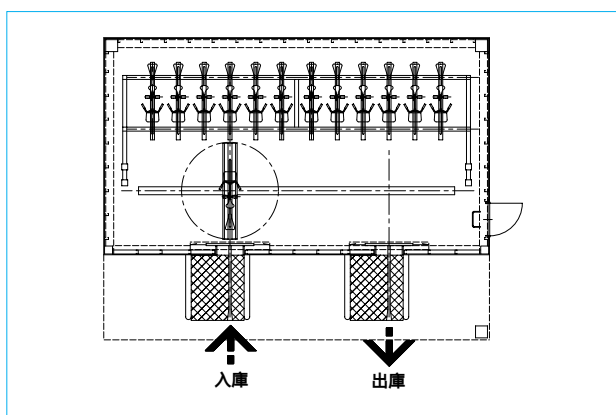


図5 2乗降部のレイアウト  
Layout of 2 platforms

格納部の収容効率を比較すると、「円形方式」は「方形方式」と比べ、搬機の昇降路が小さい反面、1台当たりの棚部の形状が扇状で大きくなることから、収容効率は必ずしも有利とはならない。一平面内の収容台数が20台以下であれば円形方式、20台を超える場合は方形方式の収容効率が高くなる。ただし、円形方式で収容効率を上げようとする、収容対象車が制限される。(詳細は2.6項参照)

サイクルパークでは、収容台数の多い案件をターゲットに「方形方式」を採用している。

#### 2.4 格納型式の分類(図4)

機械式駐輪設備の型式は、格納部と乗降部の位置関係によって、以下のタイプに分類できる。

地上タイプ 乗降部の上に格納部を配置

中間タイプ 乗降部の上下に格納部を配置

地下タイプ 乗降部の下に格納部を配置

サイクルパークは、いずれのタイプにも対応可能である。また、乗降部の数を最大2ヶ所まで配置可能とすることで、入庫と出庫の導線を分離したレイアウトも可能である(図5)。

#### 2.5 高処理能力・高精度

自転車を搬送する際の昇降、走行および旋回の3動作を同時駆動とし、昇降、走行、旋回およびシャトルの駆動をACサーボ制御とすることで、最適速度カーブによる高処理能力を可能としている。また、昇降、走行およびシャトル駆

動伝達部には歯付きベルトの採用によりバックラッシュの低減を図るとともに、走行およびシャトルの直動機構には高精度な直動ベアリングを採用することで、高精度の位置決めを実現している。一方、自転車の前輪を直接掴むクランプ機構では、タイヤ形状(径・幅・断面)の異なる自転車を確実にクランプ可能な定トルク制御を採用している。

本機構により、自転車を搬送する際の各動作の無駄を省くことで、あたかも産業用ロボットの動きを実現し、1台当たりの処理能力は約12秒と業界トップクラスとしている。

#### 2.6 多様な車種適応

カゴ付き自転車(前カゴ、後カゴ)、チャイルドシート付き自転車(前、後)、電動アシスト付き自転車、子供自転車、折りたたみ自転車およびマウンテンバイクなど、様々な自転車に対応可能(2.1項「収容車種」参照)としていることから、自走式の駐輪場を利用している自転車のうち約98%を機械式駐輪場に格納できる(図6)(オプション対応時。東京都内の7ヶ所の駅前に駐輪している4577台の当社調査結果による。実施日2005年6月22日)

一方、自転車を直接掴んで搬送する他の機械式駐輪場の収容可能率は60%以下となっており、40%強の自転車は機械式駐輪場に収容できないことを示している。この場合、別途自走式または2段式の駐輪スペースが必要となり、駐輪場全体の収容効率は悪化することになる。

すなわち、機械式駐輪場の収容効率を比較する場合には、機械式駐輪場に収容可能な自転車の種類および寸法などから収容可能率を算出し、実質の収容効率(収容効率×収容可能率)で比較することが重要となる。多様な車種に適応し、実質の収容効率の高いサイクルパークは、省スペースおよび高収容の機械式駐輪場として適している。

#### 2.7 操作性

入庫・出庫の操作は入庫または出庫ボタンを押し、IDカードをアンテナ部にかざすのみの簡単操作としている。また、音声案内とLED表示により操作案内がされることで、誰にでも簡単に入庫・出庫の操作ができる。

#### 2.8 安全性(図7)

自転車の乗降部にはフェンス、マットスイッチおよび乗降部侵入検知センサが標準装備されており、乗降部内の人の有無を常に監視している。入庫で自転車をセットして、入庫操



図7 乗降部  
Platform

作を行っても、乗降部から利用者が離れないと、機械は動作しない。機械が出庫中に乗降部内に侵入した場合も機械は停止する。機械動作と利用者の動作を完全に分離することで、人に優しい駐輪装置としている。

さらに、乗降部には自転車の重量計測器、サイズ測定器（長さ、幅、高さ）および車輪異常検出器が標準装備されており、収容対象外の自転車の検知および荷物の置忘れや、スタンドが立っているか、鍵が掛かっているかの検知も自動的に行い、問題があれば音声案内、LED表示で利用者に伝えることで、自転車の破損や機械の故障停止を未然に防止している。

また、格納部には「仕切り板」を設け、格納部での車輛相互の干渉を防止するとともに、車輛の前・後輪の側面をバネ機構で押えることで、地震による車輛の転倒・落下の防止、ならびに車輛の位置ズレによる不具合防止を図っている（図8）。

なお、地震時には格納部に取り付けられた地震計により、震度4（ $0.05 \text{ m/s}^2$ ）で機械装置は安全停止する。

前記各種の安全装置群の内、乗降部のフェンス、侵入検知センサ、自転車のサイズ測定器および格納部の仕切り板は、「サイクルパーク」特有の安全装置であり、他の機械駐輪装置とは差別化している。

### 2.9 保守性

機械式駐輪場の格納部には点検歩道を設けており、容易に格納部の点検が可能な構造としている。

主要機器（機械可動部、モータおよびセンサ類）は搬送装置と乗降部のみとしていることから、点検箇所が少なく、点検が容易な構成としている。

制御部では全てのセンサ状態を把握し、センサ情報に基づくエラーメッセージの表示機能を装備していることから、容易に停止原因を把握可能としている。

## 3 むすび

本開発機は、2005年1月にリリース、販売開始し、デモ機を設置している当社横須賀製造所旧浦賀工場には多くのゼネコンおよび自治体の見学受入れが続いている。

産業ロボットを思わせるスムーズな動きと、1台当たりの処理能力12秒という高速性能を間近で体感した見学者の反



図8 格納部  
Storing part

応は良好である。乗降部では実際に自転車を入出庫してみる見学者もあり、自転車の出し入れの操作の容易さ、安全装置の動作を確認するなど関心の高さが感じられる。

本開発機の特徴は、以下のとおりである。

自転車を直接ハンドリングし入出庫する。

格納部が方形で、搬送装置が帯状の昇降路内を昇降、走行および旋回して自転車を搬送する。

格納部の位置は、地下、地上および地下地上のいずれでも可能としている。

1台当たりの処理能力が約12秒と高速である。

乗降部（ブース）を2ヶ所まで配置可能とし、入庫と出庫の同時平行作業のレイアウトにも対応している。

乗降部と搬送装置は完全分離とし、安全性を確保している。

乗降部には自転車の長さ、幅、高さおよび重量のチェック機能を組み込み、管理者および利用者の安全および使い易さを実現している。

棚内に仕切り板構造を適用し、カゴまたはチャイルドシート取付け自転車、子供自転車、マウンテンバイクおよび電動アシスト付き自転車など対象自転車が幅広い。

商品機としての最大の課題は品質、安全性の確保である。デモ機による耐久テストで70000回の検証は終了したが、更なる検証、改善を実施していく。（目標故障率10ppm以下）なお、見学を通しての要求品質については、現在の仕様に織込み済みであり、徹底した標準化および固定化により品質確保と生産性向上を追及していく所存である。

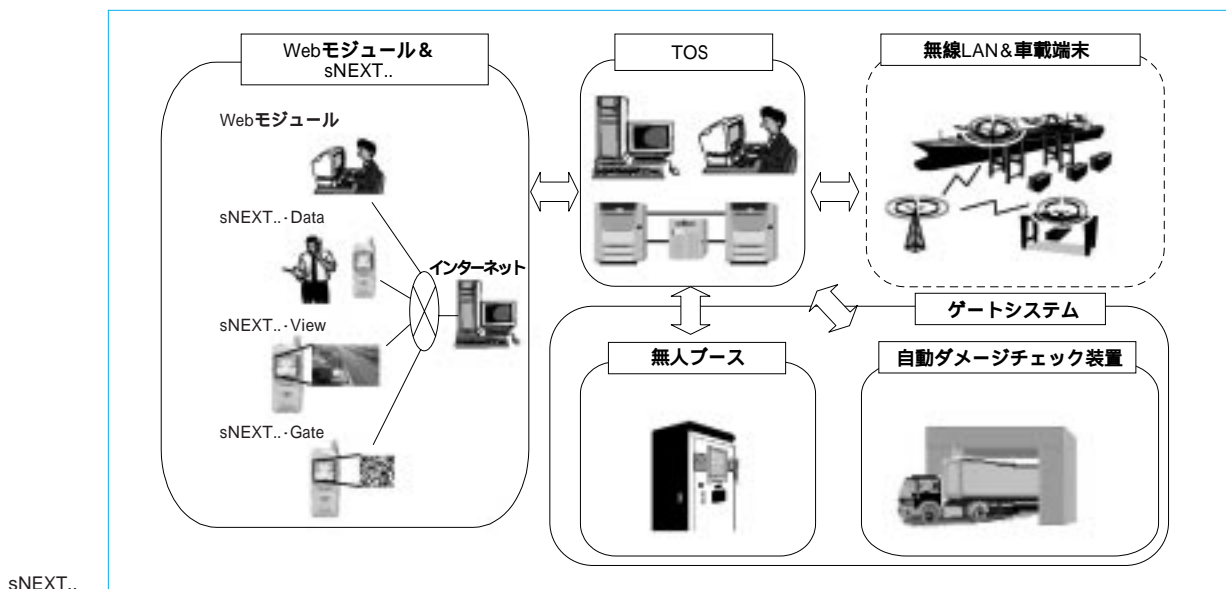
### （参考文献）

自転車活用推進研究会. 我が国の自転車政策のあり方に関する調査報告書. Mar., 2002.

# コンテナターミナル トータルソリューション (sNEXT.. の開発)

## Container Terminal Total Solution (Development of sNEXT.. )

山野内 和 樹\* 森 田 明\*\* 森 真 史\*\*  
Kazuki YAMANOUCHI Akira MORITA Masafumi MORI



経済活動のグローバル化に伴い、海上コンテナ輸送は急速なる拡大の状況にある。一方、近隣のアジア諸国に対する日本のコンテナターミナルの相対的なサービスの水準の低下が指摘されており、コンテナターミナルの物流における効率の向上が港湾物流の国際競争力を強化する策として求められている。

その中でも、コンテナターミナルのゲートにおける搬出入処理の迅速化・効率化が、また、それに伴う利便性の向上・管理コストの低減およびゲート運営時間の制限を緩和することが重要な課題となってきた。当社では、最新のIT技術の利用およびモバイル端末の活用に着目し、一連のシステムの構築によりコンテナターミナルのゲートにおける搬出入手続の効率化を実現した。

The sea container transportation has expanded rapidly with the globalization of an economic activity. But it has been pointed out that the relative service level of Japanese container terminals is unfavorable compared with those provided by other Asian countries. The efficient improvement of cargo handling at Japanese container terminals is requested to enhance their international competitiveness. The important challenge is to improve the container carrying in-and-out procedures through a terminal gate in a more rapid and efficient way for enhancing the convenience of container handling, reducing the handling costs. We have improved the container identification procedures at one terminal gate by constructing a series of identification systems utilizing the latest information technology and mobile terminal devices.

### 1 まえがき

海外に対する我が国のコンテナターミナルの相対的なサービス水準の低下が指摘されているが、その主たる要因は以下の3点である。

- 海外港湾に比較して高い港湾利用料
- 海外港湾に比較して制限の多い運営時間
- 海外港湾に比較して煩雑な諸手続

コンテナターミナルは海上輸送と陸上輸送の接点であり、海陸一貫輸送にはその港湾輸送での迅速性向上・効率化、サービス向上には荷役の情報化・機械化などが求められている。当社では、最新のIT技術の利用およびモバイル端末の活

用に着目し、一連のシステムの構築によりコンテナターミナルのゲートにおける搬出入手続の効率化を実現したので、ここに紹介する。

### 2 システムの構成

図1は、コンテナターミナルでの荷の流れを示し、冒頭の図はコンテナターミナル運用システム構成を示す。システムは、WEBモジュール、sNEXT..・Data、View、Gateに代表されるモバイル端末（主に携帯電話）を活用したソフトウェアモジュール群、ゲートシステム（無人ブース・自動ダメージチェック装置）とコンテナターミナルのオペレーションシステム（TOS Terminal Operation System）とから構成される。



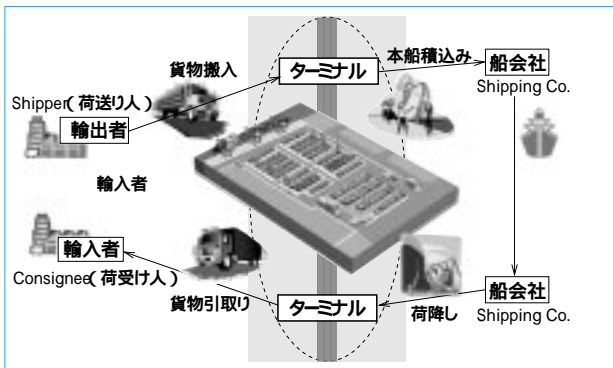


図1 ターミナルにおける荷の流れ  
Cargo operation in trade

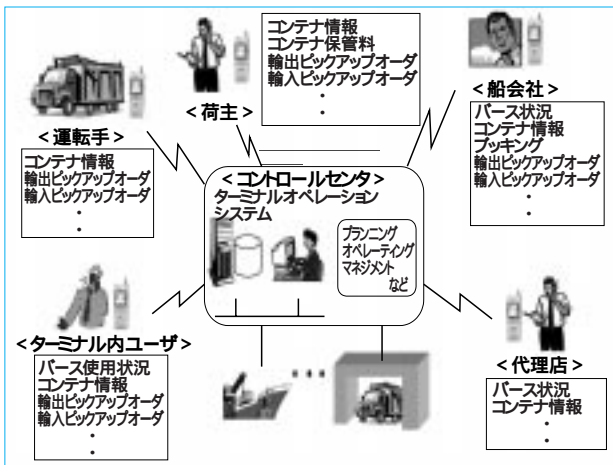


図2 利用者概要  
Application

ソフトウェアモジュール群は業務を支援するもので、各港湾に導入された既存のTOSへの対応が可能に設計されている。データセンターに設置されたアプリケーションサーバを介し、ターミナルデータベース (DB) にファイアーウォール経由でアクセスする構成となっている。アプリケーションサーバには、WEB対応アプリケーションと携帯電話対応のアプリケーションが同居し、各々リアルタイムにDBにアクセスする仕組みとなっている。ここで、ファイアーウォールはイントラネット内のセキュリティレベルを確保するべく、専用を原則としている。

### 3 システムの特長

システムの特長を次に示す。

コンテナ搬出入手続きを電子化している。搬入/搬出予約は、外部ユーザがインターネットを利用して可能である。また、ターミナルの情報をリアルタイムに照会ができる。

携帯電話からオペレーションシステムのアプリケーションサーバへアクセスし、リアルタイム処理でデータベースサーバのデータ照会を行い、利用者で情報提供をするシステムである。それにより、インターフェース部分のみ各種TOSに適応させるだけで利用可能となる。業務支援システムは、TOSの種類にとらわれない。

コンテナ搬出入予定のコンピュータ予約・登録システ

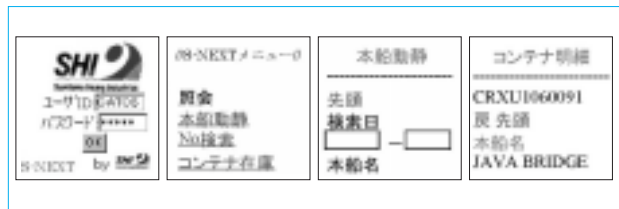


図3 携帯電話画面例  
Screen examples of cell phone

ムとゲートの無人化により、24時間受付が可能である。海外においても、対応が可能である。

## 4 主な機能

各ソフトウェアモジュールの概要を説明し、その後個々の機能に関し説明する。

### 4.1 概要

#### WEBモジュール

TOSの機能の一部で、外部ユーザからインターネットを利用し、リアルタイムなTOS情報の検索と搬出入予約処理ができる。

#### TOSデータベース内情報照会 (sNEXT...Data)

コンテナ情報、本船動静およびピックアップオーダー情報などを表示する。

#### 映像システム (sNEXT...View)

ゲート周辺の混雑状況を撮影情報として携帯電話画面上で閲覧できる。

#### ゲートシステム (sNEXT...Gate)

コンテナ搬入・搬出情報に応じた2次元コードを携帯電話画面上に表示する。そのコードをゲートシステムに接続された2次元コードリーダーで読み取ることにより、自動受付が可能となる。

### 4.2 機能

次に、各機能の詳細を述べる。

#### 4.2.1 ソフトウェアモジュール

携帯電話を対象とした機能で、本システムへのログインは、事前に登録されたユーザのみ可能となっている。(ユーザ認証) また、インターネット経由でユーザがTOSに対し一部の個人情報を変更することもできる。

##### 4.2.1.1 データ照会 (sNEXT...Data)

#### メニュー

利用者登録時にメニュー設定を行う。メニューは、データ照会を主としたユーザと2次元コード利用を主としたユーザとを観点に、各々のニーズに応じたメニュー画面を備えている。そのカテゴリーは、次のとおりである。

- a. 荷主・海貨業者・運送業者用メニュー
- b. 船会社・船会社代理店用メニュー
- c. ターミナルスタッフ用メニュー
- d. ドライバー用メニュー

利用者概要を図2に、携帯電話の画面例を図3に示す。

#### データ照会内容

パース情報とコンテナ情報を主体とした、次のターミナル情報が照会できる(図4)

- a. パース情報

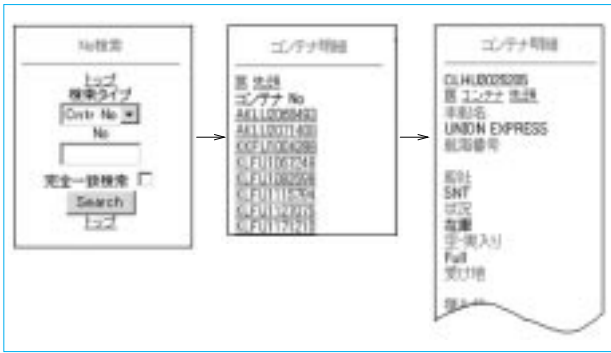


図4 携帯での検索推移  
Search process by cell phone

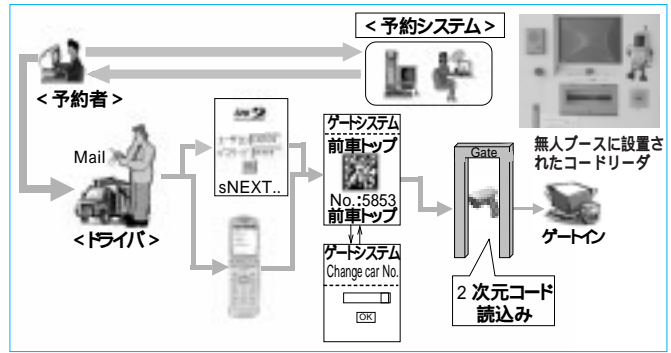


図6 sNEXT..-Gate

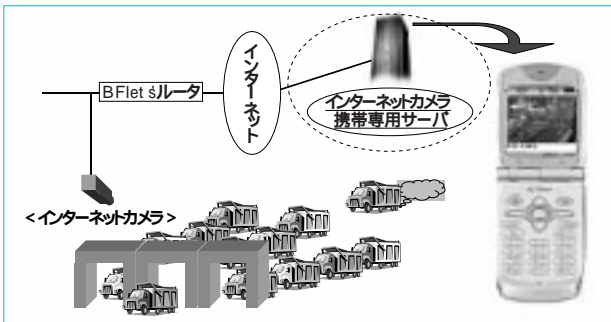


図5 sNEXT..-View

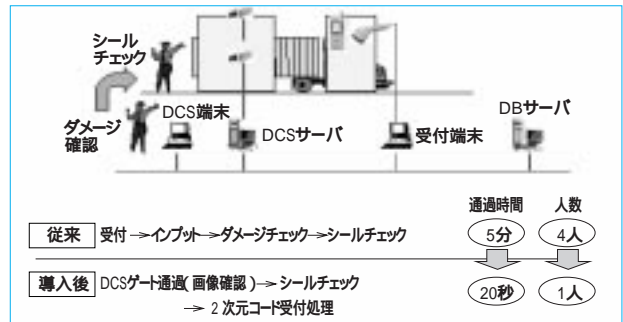


図7 Gate System

各船舶ごとのETA, ETD, OPENおよびCLOSEの時間などの表示を行う機能である。検索は、日付によって行い、本船名による絞り込みが可能である。

b. No. 検索

No.検索は、次の5種類を有している。それは、コンテナNo.、ブッキングNo.、BL No.、Job Order No. および予約No. である。各検索結果画面からさらにコンテナ詳細を表示することができる。

4.2.1.2 映像システム (sNEXT..-View)

ゲート周辺の道路状況、搬出入各ゲートおよびヤード内など、インターネットカメラで撮影した映像がリアルタイムにパソコン画面および携帯電話画面上で閲覧できる(図5)。

4.2.2 無人ゲートシステム(図6)

ゲート手続での煩雑さを解消するべく、大きく次の二つの機能から構成される。

2次元コードシステム (sNEXT..-Gate)

コンテナダメージチェックシステム

4.2.2.1 2次元コードシステム (sNEXT..-Gate)

トレーラの運転者が使用するシステムである。予め携帯電話に表示させた2次元コードを無人ブースに設置した2次元コードリーダーにかざすだけで自動的にゲート手続を済ませ、コンテナの置き場および位置などを知ることができる。また、運転者の負荷と誤りの軽減を図るべく運送業者が予め予約した時点で予約No.をメール配信する仕組みを備えている。運転者はこれをクリックするだけで、2次元コードを携帯電話に表示するとともに、通関を主とした諸手続情報を把握し、引取りの可否を確認できる。これにより、手続の完了確認が不要となり、かつ正確な情報を運転者自らが携帯電話

を通し確認可能となる。また、4桁の車番が内在されており、運転者が2次元コードリーダーに読ませると同時にヤード内の荷役機械操作員に自動的に配信されるようになっている。この車番も不測事態に備え、携帯電話からも随時変更が可能である。

4.2.2.2 コンテナダメージチェックシステム

本システムによりコンテナのダメージチェック作業が円滑化され、トータルな物流の効率化が実現できる(図7)。

本ダメージチェックシステムは、センサおよびカメラを連動させゲートレーンを通じたコンテナの画像を取得し、カメラから取り込んだコンテナ画像データに対しパターンマッチングなどによりダメージを認識する。また、通過したコンテナNo.を自動的に読み取ることができるとともに、通過したコンテナのイメージを端末装置からほぼリアルタイムに見ることができる。そのイメージには、認識したペントおよびホールなどのダメージ部分がマーキングされ表示される。ダメージの程度を認識することが可能であり、そのパターンを所有者である船会社ごとに区分することにより、会社単位のコンテナの管理を可能とした。画像はそのままサーバに保存されており、後でコンテナ番号およびシャーシ番号により検索閲覧することができる。

4.2.3 無人ブース

従来はゲート係員が手作業で行っていた、トレーラ/ゲート係員/ゲート管理棟間の情報の受渡しに係わるゲートでの搬入手続を、トレーラ運転手が自ら行うことによりゲートを無人化し、物流機能を効率化したゲート装置である。本装置はタッチパネルPC、2次元コードリーダーおよびプリンタに代表される機器で構成され、これにより無人でのゲートの通過を可能とした。以下に、各機器の機能について説明する。

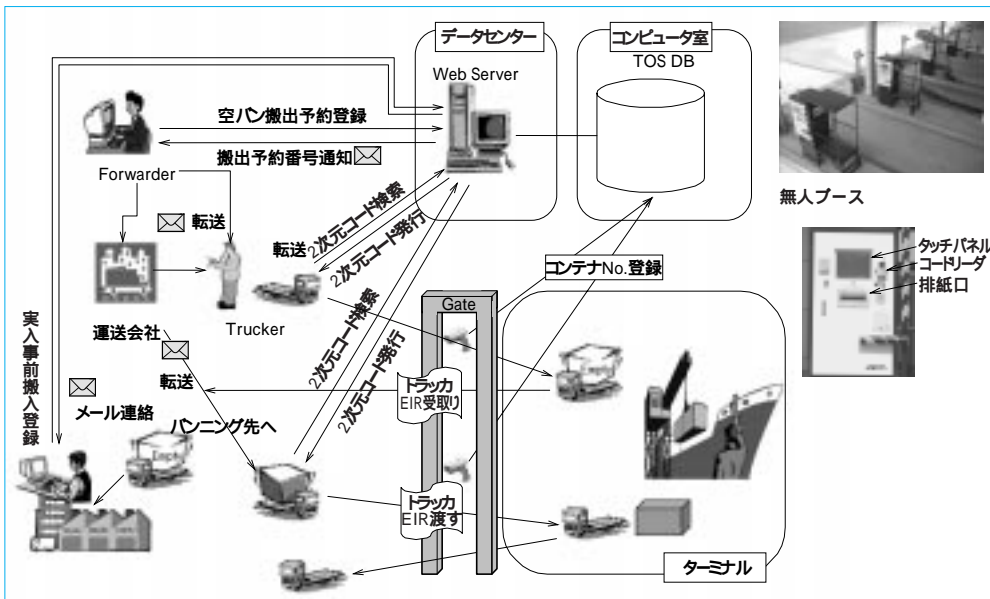


図8 輸出の処理手順  
Typical processing flow in export

### 2次元コードリーダー

トレーラ運転手が、情報を手入力する代わりに、携帯電話画面に表示させた2次元コードを読み込ませるもので、sNEXT..GateでTOSに接続される。2次元コードの読込により、ゲート受付処理が完了する。

### タッチパネルPC

事前予約による2次元コードを未取得のトレーラ運転手が自ら情報を手入力することにより、ゲート受付処理を行う。TOSがその受付処理を受け付けない場合には、その理由(例えば、D/O未提出)を画面に表示する。

### プリンタ

TOSがゲート受付処理を受け付けた場合、コンテナ蔵置位置などを印刷した用紙を排紙口から出力する。

URLをクリックすると、自動的に2次元バーコードが送られてくる。運転手は無人ゲートに設けられたバーコードリーダーに携帯をかざすと自動的に受付が行われ、蔵置場の指示が無人ブースのモニタおよび携帯画面に表示されるので指示に従う。

従来は、空バン引取り予約は電話またはFAXにて行ってきたが、インターネットを活用し処理することで迅速化とペーパーレス化を実現した。携帯電話に送られるコード情報の活用により、運転手はゲート通過時にバーコードリーダーに携帯電話をかざすと瞬時に自動受付が行われ、即座にヤードの貨物搬入やピックアップ位置を得ることができる。これによりゲートでの通過時間が大幅に短縮され、ゲートにおける搬出入手続を効率化した。一連のシステムの導入により、従来、輸出貨物の場合前日予約が原則であったが、同日出船4時間前までの予約を可能にした。

## 5 ゲート処理

以上の効率化されたシステムにおける処理手順と効果を、輸出を例に説明する(図8)。

### 5.1 輸出処理の手順

海貨業者(荷主)は、輸出用空バン引取り予約をインターネットで行う。

予約が完了すると、自動的に予約番号が付与された電子メールが届く。

運送を依頼する運送会社へ当該メールを転送する。

運転手が携帯電話で配車係から受け取ったメール上のURLをクリックすると、自動的に2次元バーコードが送られてくる。運転手は無人ゲートに設けられたバーコードリーダーに携帯をかざすと自動的に受付が行われる。ピックアップ位置の指示が無人ブースのモニタ並びに携帯画面に表示されるので指示に従う。

バン詰作業終了後、搬入票を作成する代わりに、インターネットで実入コンテナ事前受付を行う。

受付が完了すると、自動的に受付番号が付与された電子メールが届く。

運送を依頼する運送会社へ当該メールを転送する。

運転手が携帯電話で配車係から受取ったメール上の

## 6 むすび

コンテナターミナルにおける港湾物流の効率向上と利便性向上を実現した、IT技術応用のシステムを紹介した。

インターネットを活用することで、迅速化とペーパーレス化が実現できた。

無人ゲートにより搬出入手続の効率化を実現した。

ゲートを初めとして、港湾物流の情報化並びに貨物の流れに沿った一貫したシステムの構築へ、更なる物流コスト削減・リードタイムの短縮に取り組んでいく所存である。

本システムの構築に当たって、株式会社上組、株式会社ビットおよびIPCSインコーポレイテッドの3社に感謝の意を表す。

### (参考文献)

経済産業省. 我が国主要港湾地域の国際競争力強化に向けた調査. 2002.

# バケットエレベータ式連続アンローダの予防保全システム

## Preventive Maintenance System for Bucket Elevator Type Continuous Ship Unloader

伊藤 義和\* 大北 義明\*  
Yoshikazu ITOH Yoshiaki OHKITA



バケットエレベータ式連続アンローダ  
Bucket elevator type continuous ship unloader

高能力のバケットエレベータ式連続アンローダは、その高い荷役性能ゆえにオーバーロードとなりやすく、想定外の機械的なトラブルが発生する可能性がある。また、制御システムにおいても、高機能化および高精度化による原因究明困難なトラブルが発生する可能性がある。これらの事情から、バケットエレベータ式連続アンローダの運用では、安定操業の維持・向上がますます重要な課題となってきた。

そこで、トラブルを事前に予測し保全することにより、安定操業の維持および向上を図るべく、疲労寿命監視システムと軸受振動監視システムを開発した。さらに、バケットエレベータの掘削速度を制御して、機体に作用する荷重を減少させるシステムも付加した、バケットエレベータ式連続アンローダの予防保全システムを紹介する。

The bucket elevator type continuous ship unloader tends to be operated at an overload because of its high unloading capacity, and then to occur unexpected mechanical trouble. Its advanced and sophisticated control systems may also make it difficult to locate the cause of trouble. Thus, it has become more important to maintain the stable operations of the bucket elevator type continuous unloader. To keep stable operations, Sumitomo Heavy Industries Engineering & Services Co.,Ltd. has developed monitoring systems of fatigue life and bearing vibration to predict problems that require maintenance work. In addition to the monitoring systems, the digging speed control of the bucket elevator is also incorporated into the system to reduce the load acting on the unloader structure. This paper presents the preventive maintenance system for the bucket elevator type continuous unloader.

### 1 まえがき

運搬荷役設備が高機能化し、その制御システムが複雑化していく中で、安定操業の維持と向上がますます重要な課題となってきた。一方、顧客の保守作業員の質的・量的な不足により、トラブルや予防保全への対応力が低下しつつある。

バケットエレベータ式連続アンローダ（BE式CSU）は、

鉾石や石炭を高能力で荷役できる反面、構造物には設計値を超える荷重が連続的に作用する可能性があることから、他のクレーンに比べると大きなダメージが蓄積されやすい。

このような状況に対し、BE式CSUのダウンタイムミニマム化による安定操業維持を目的とした、予防保全システムを開発したのでここに紹介する。

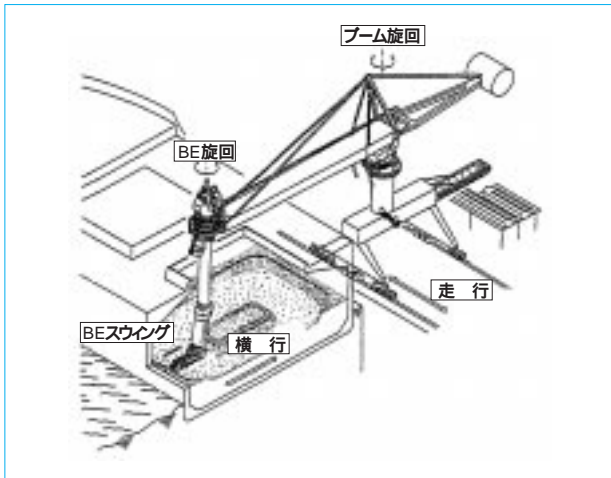


図1 BE式連続アンローダの動作  
Motion of BE type continuous ship unloader

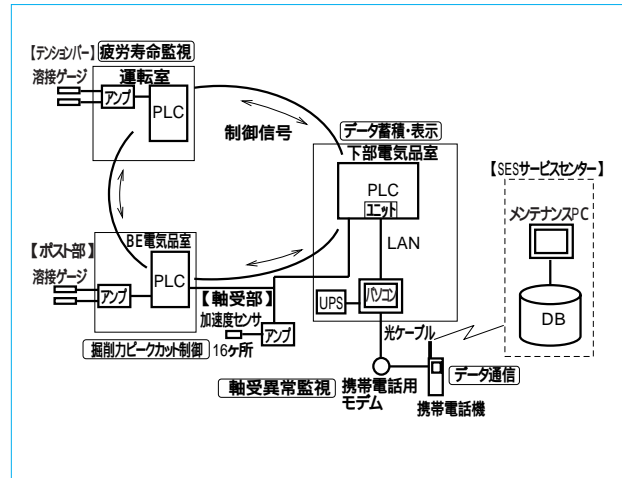


図3 システム構成  
System configuration

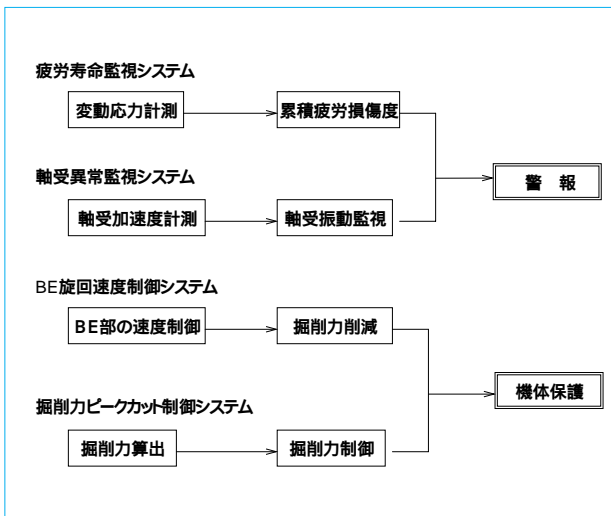


図2 予防保全システム  
Preventive maintenance system

## 2 バケットエレベータ式連続アンローダの概要

BE式CSUとは、ブーム先端のバケットで連続的に船内の鉱石や石炭を高能力で陸揚げする運搬荷役機械である。図1に示すように、走行、ブーム旋回、ブーム起伏、バケットエレベータ（BE）旋回およびBEスイングの5動作を有し、BE先端のバケットが船内を周回しながら連続的に荷役を行う。この時、鉱石や石炭の物性値やバケットで掘削時の崩落およびオペレータの運転方法などによっては、構造物に設計値を越える荷重が作用する可能性がある。

## 3 予防保全システムの構成

本システムは、二つの監視システムと二つの制御システムから構成される（図2）。

### 3.1 監視システム

機体に取り付けたセンサにより変動応力や軸受振動を常時監視し、設定値を超えると運転室のモニタ画面に警報を表示する。その監視システムとは、次の二つである。

- 構造物の変動応力を常時監視する疲労寿命監視システム
- 軸受振動を常時監視する軸受異常監視システム

### 3.2 制御システム

荷役効率を落とさずに機体寿命を延ばすべく、次の制御システムを付加することにより、機体に作用する掘削力を適切に制御し、更なる安定操業の維持を図る。その制御システムとは、次の二つである。

BE旋回速度制御システム

掘削力ピークカット制御システム

### 3.3 データ処理

本システムのデータ処理は、運搬荷役機械の制御装置（PLC）を使用した「データ収集部」と、「パソコン」（PC）および住友重機械エンジニアリングサービス株式会社（SES）サービスセンターに設置された「メンテナンスPC」で構成される。「パソコン」および「メンテナンスPC」は、公衆電話回線で接続される（図3）。

## 4 予防保全システムの詳細

### 4.1 疲労寿命監視システム

構造物の疲労破損が発生すると、場合によっては長期間の操業停止が必要となり、復旧までに多大な労力と費用が必要となる可能性がある。これを防止するには定期点検が有効であるが、現実の問題として初期段階の亀裂を発見するのは困難なことが多い。予防保全として初期段階で亀裂を発見するには構造物の残寿命を高精度に予測し点検する必要があるが、それには合理的なデータ収集に基づいた評価・判断システムが必要である。

通常、構造物の疲労寿命は、短期間の実稼働応力測定結果により推定する場合が多い。ところが、数10年にわたる使用期間の内には、操業時間や作用荷重のバラツキなどにより当初の疲労寿命推定精度が悪化することが考えられる。これを解決する手段として、常時発生する変動応力を長期間にわたって採取・分析することにより、主要構造物の疲労寿命を高精度に推定するシステムを開発した。これは、疲労寿命が設定値を超えると、運転室のモニタ画面で警報を発生する機能も有する。

#### 4.1.1 疲労寿命推定

疲労寿命は、BE部への作用荷重が明確に判定できる部位（テンションバー2ヶ所）で変動応力を計測し、疲労設計曲

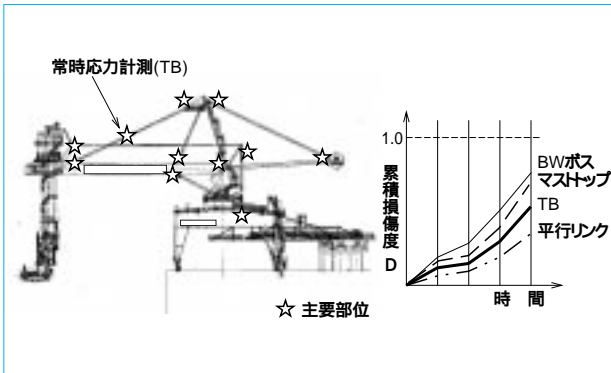


図4 疲労寿命監視  
Monitoring of fatigue life

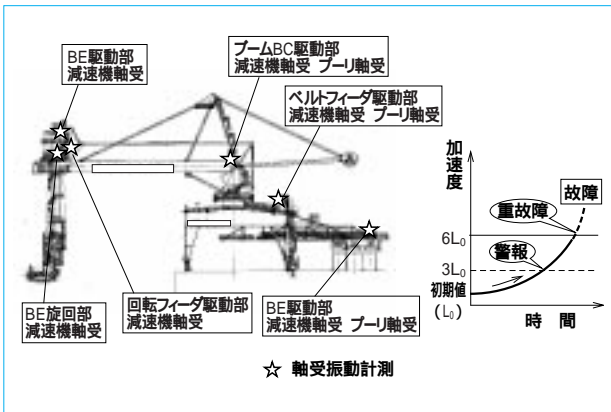


図5 軸受異常監視  
Monitoring of bearing condition

線により求めた疲労寿命との比で、累積損傷度を算出・評価する。他の主要構造部位15ヶ所については、事前に測定したデータを基に、テンションパーとの比で累積損傷度を算出することにした。15ヶ所の変動応力を直接計測しないのは、計器類の増加によるトラブル発生リスク増と疲労寿命推定精度を比較検討した結果、テンションパーとの比で十分であると判断したことによる(図4)。

また、これらの累積損傷度は、CSU機体に設置したパソコン画面に大きい順に一覧表示する。

#### 4.1.2 応力測定ツール

##### 4.1.2.1 溶接型ひずみゲージ

港湾に設置するCSUには、耐候性のある測定機材が必要となる。テンションパーで数10年という長期にわたって変動応力を採取することから、数年ではあるがSESで使用実績のある溶接型ひずみゲージを採用した。溶接型ひずみゲージの精度については、通常のひずみゲージを同じ場所に取り付けて実荷役を測定し、出力差がないことを確認した。

##### 4.1.2.2 応力頻度分布

計測した変動応力から応力頻度を求めるべく、アナログの計測値(電圧)をPLCでデジタル変換し、1時間分のデータをレインフロー法で解析する。これを長期にわたって累積し、応力頻度分布( $n_i : \Delta_i$ )を作成するプログラムを開発した。この応力範囲レベル( $\Delta_i$ )と、疲労設計曲線より求めた疲労寿命( $N_i$ )より、次式で累積損傷度( $D$ )を求める。累積損傷度は、稼働により徐々に増加し、1.0以上になると疲

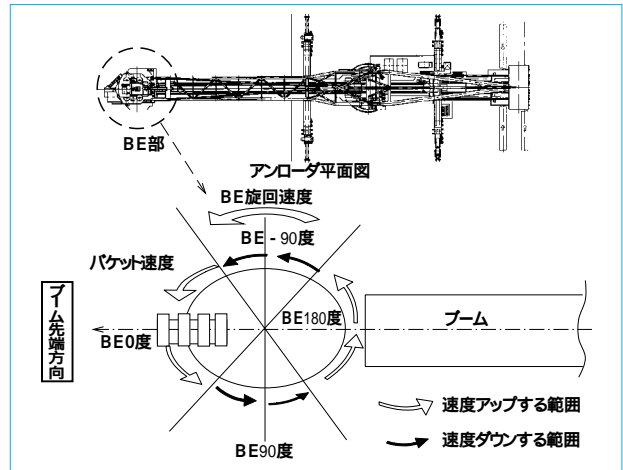


図6 BE旋回速度制御  
Control of BE slewing speed

労破損することになっている。本システムでは、安全を見て0.3を越えると運転室のモニタ画面に警報を出すように設定した。

$$D = \sum (n_i / N_i)$$

ここで、 $n_i$   $\Delta_i$ の発生頻度

$N_i$  疲労設計曲線より求めた $\Delta_i$ の疲労寿命

$\Delta_i$  応力範囲レベル

#### 4.1.2.3 荷重校正

長期にわたって精度の高いデータを採取し続けるには、計測器類が初期状態を維持できているかどうかを定期的に確認する必要がある。本システムでは、BE旋回のような簡単な基本動作で計測機器の精度を定期的にチェックできる、半自動の荷重校正システムも開発した。これにより、初期値との差を算出し計測機器の状態を確認することができる。

#### 4.2 軸受異常監視システム

1個の軸受の故障が、CSU全体の稼働停止を余儀なくする場合がある。軸受の異常を早期に見出すべく、CSUの主要な軸受16ヶ所に加速度センサを設置した。常時計測したアナログの加速度(電圧)をPLCでデジタル変換し累積することで、初期状態からの変化を比較し、軸受の異常を早期に検出することができる。本システムでは、軸受の異常検出に「ころがり軸受の相対判定法」を採用した。約1ヶ月間の軸受振動データを採取し、個々の平均値と最大値を初期値として設定した。稼働時に得られた振動データから、1時間ごとの平均値と最大値を算出し、各々の初期値の3倍で警報、同6倍で重故障警報を発することにした(図5)。

#### 4.3 BE旋回速度制御システム

ブーム先端でBEが旋回しながら掘削するが、それを支える構造体はBEがブームに対して直角方向(BE旋回角90度および-90度)の時、掘削力による発生応力が大きくなる。また、この掘削力は、BE旋回により機体に繰り返し作用することから、機体の疲労寿命に与える影響も大きくなる。そこで、BE旋回速度およびバケット速度をブーム直角方向で最大20%程度ダウンさせることにより、機体に作用する掘削力を減少させる制御を付加した(図6)。実機による制御

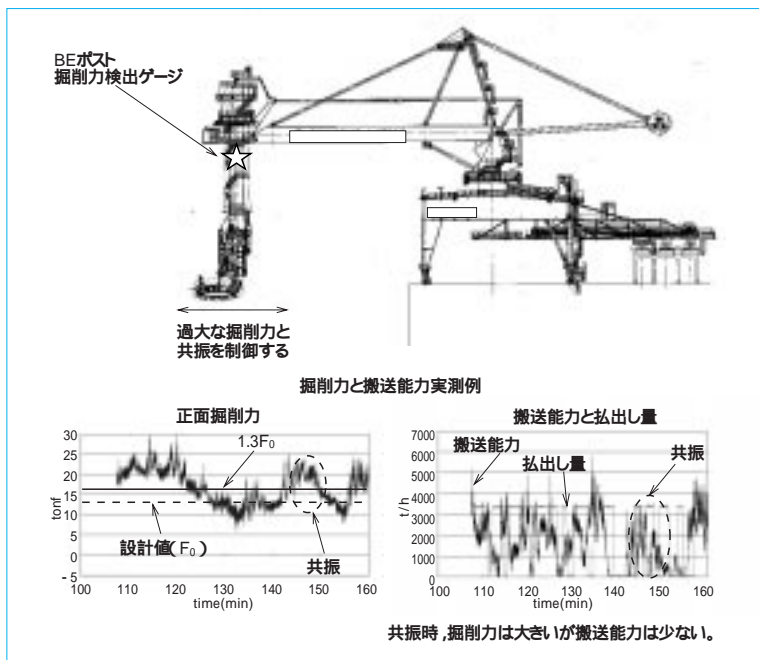


図7 掘削力ピークカット  
Peak cut control of action load

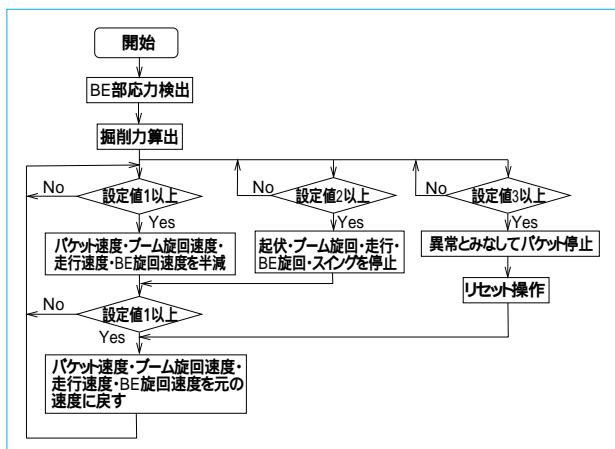


図8 掘削力ピークカット制御フロー  
Flow chart of peak cut control

検証試験の結果では、疲労寿命が2倍以上に伸びることを確認した。

一方、BE回転速度およびバケット速度をダウンすることによる能力低下が数%発生したが、BEがブーム方向（BE回転角0度および180度）の時にBE回転速度およびバケット速度をアップさせることにより、この能力低下をカバーすることができる。

#### 4.4 掘削力ピークカット制御システム

荷役時に実掘削力を計測すると、設計掘削力の1.3倍以上作用している場合が多い。ところが、掘削力と荷役能力は必ずしも比例しないことから、荷役能力は定格以下の場合がある。これは、BE部の共振により掘削力は大きくなるが、バケットに鉱石が入っていないことによる。そこで、過大な掘削力が連続して機体に作用するのを防止し、機体に影響を与える過大な変形や共振を防止するとともに荷役能力を向上させるべく、本制御システムを付加した。掘削力は、溶接ひずみゲージをBEポストに取り付け、発生応力と荷重校正値か

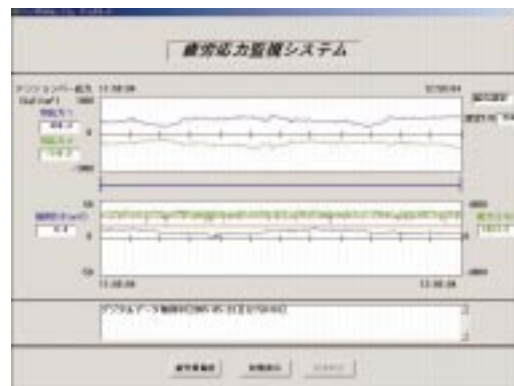


図9 表示画面  
Screen of preventive maintenance system

ら算出した。掘削力のピークカット制御は、オペレータの操作性も考慮しながら、以下のような3段階の速度制御を行った（図7、図8）。

掘削力が設定値1よりも大きくなると、バケット速度、ブーム回転速度、走行速度およびBE回転速度を半分にする。

掘削力が設定値2よりも大きくなると、起伏、ブーム回転、走行、BE回転およびスイングを停止させる。

掘削力が設定値3よりも大きくなると、異常掘削力とみなして全動作を停止させる。

（ただし、設定値1 < 設定値2 < 設定値3）

#### 4.5 リモートアクセス機能

システム構成（図3）に示すように、本システムは公衆回線にてCSU上のパソコン（図9）と、SESメンテナンスPC間でデータ通信ができることから、実績データの累積と評価が可能である。また、トラブル発生時にはPLC内プログラムのモニタ・修正を行うことによるトラブル復旧支援およびトラブル復旧時間の短縮も可能としている。

## 5 むすび

保守および保全作業は、トラブル発生後の事後保全から、設備の予防保全への移行が要望されてきている。更には、IT技術をベースとした、専用メーカーによる遠隔での設備診断が注目を集めている。

本システムにより、CSUの予防保全は大きく前進すると確信し、今後のブラッシュアップを図るとともに、他機種への展開も予定している。

今後とも、診断技術とIT技術を駆使し、予防保全と遠隔での設備診断への拡張を押し進めていく所存である。

（参考文献）

日本鋼構造協会. 鋼構造物の疲労設計指針・同解説. 技報堂, 1998.  
井上紀明. 実践振動法による設備診断 (1998) p. 78~79, 日本プラントメンテナンス協会.

# モバイルハーバークレーン走行駆動方式の最適化

## Optimization of Steering System for Multi-axle Mobile Harbor Crane

庄 福 勝 美\* 大 北 義 明\* 吉 田 史 郎\*\*  
 Katsumi SHOFUKU Yoshiaki OHKITA Shiro YOSHIDA

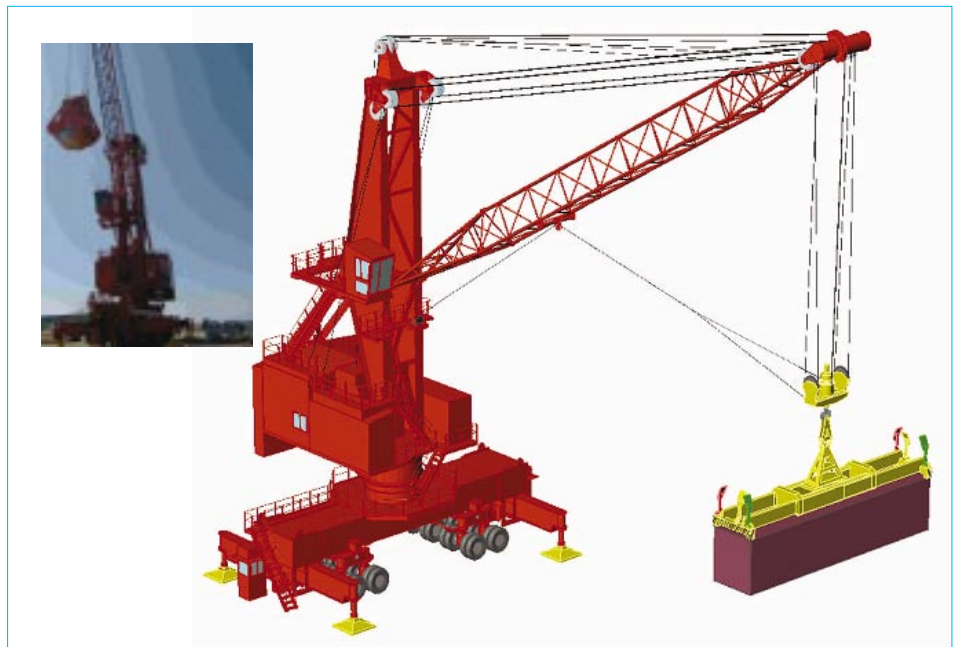


図1 多軸式走行クレーン  
 Multi-axle mobile harbor crane

近年、日本の主要港湾は物流の更なる効率化を求め、荷役機械が大型化、自動化されている。これに対し、地方中小港湾では、多様化するニーズと厳しい経済面から多機能で機動性を重視した多目的荷役機械導入の要望が高まっている。

住友重機械エンジニアリング サービス株式会社 (SES) が開発したモバイルハーバークレーンは、自社製の電動式走行装置を備え機動性を飛躍的に高めた多機能、多目的タイヤクレーンとしては国内で初めてとなる。走行装置は基礎地盤への配慮から複数のタイヤを備え電気式駆動装置を備えた自走式としている。走行装置の電動化は、環境対策クレーンの基礎研究が進む現在大きな差別化技術となり、自社技術でこのクラスの走行回転半径を達成しているクレーンメーカーはSESのみである。

この駆動装置を最適化した機構解析シミュレーションと実機による検証結果を紹介する。

Recently, at major Japanese harbors, larger and automated loading and unloading facilities have been installed in order to achieve more efficient cargo handling. On the other hand, at small to medium sized local harbors, the introduction of multipurpose loading and unloading facilities with high mobility is desired in order to meet various needs under difficult economic circumstances. The mobile harbor crane developed by Sumitomo Heavy Industries Engineering & Services Co.,Ltd.(SES) is the first domestic model of a multipurpose and multifunctional wheeled crane. The mobility of the model has been dramatically improved by providing it with electric driving mechanism, which is a key factor for reducing the environmental pollutions. SES's mobile harbor crane has a minimum turning radius that has not been achieved by any other crane manufacturers. This paper reports the mechanical simulation analysis to optimize the driving devices, and the comparison with the field test results.

### 1 まえがき

地方公共岸壁の多くは荷役の多様性に対応するべく岸壁にレールを設置しておらず、特定の荷役機械を対象としていないことから電源設備がないケースが多い。こうした場合、トラッククレーンのような自走式で自己完結式の電源設備を持つ荷役機械が必要とされる。ただトラッククレーンでは荷役

能力が劣り、従来型のタイヤ式クレーンではあまりにも機動性に問題があった。

住友重機械エンジニアリング サービス株式会社 (SES) のモバイルハーバークレーンはトラッククレーンの「機動性」と従来型クレーンの「高い荷役能力」を併せ持ち、電気式駆動装置を採用した環境面にやさしい次世代型多機能クレーンと言える (図1)。



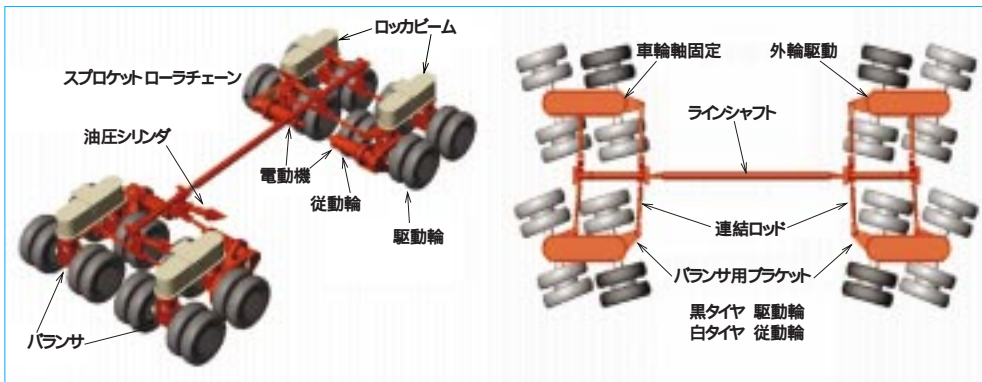


図2 駆動機構  
Driving mechanism

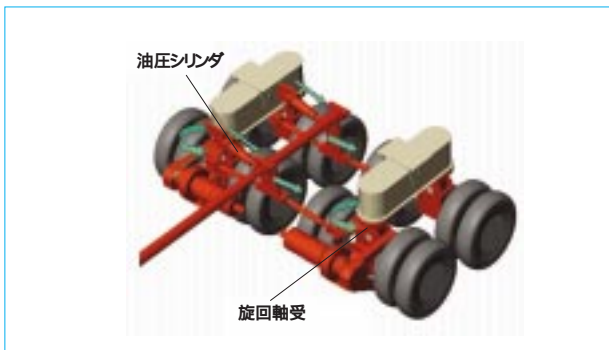


図3 旋回機構  
Steering mechanism

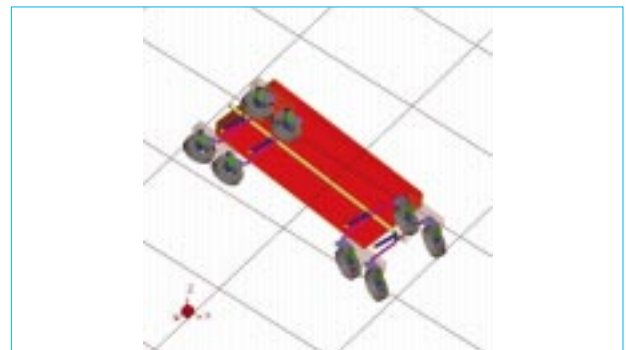


図4 解析モデル  
Simulation model

同機はこのクラスで国内市場の50%近くのシェアを持つSESの主力機種であるが、更なる飛躍を目指し基盤技術の整備を進めている。

## 2 製品の特徴

### 2.1 走行装置の仕様

本製品の特徴である走行装置の仕様を紹介する。

|        |                                   |
|--------|-----------------------------------|
| 型式     | 32輪タイヤ装着 8軸式走行クレーン                |
| 走行速度   | 0.75 m/s                          |
| 走行制御方式 | インバータ制御                           |
| 走行タイヤ数 | 全32輪 / 駆動輪 8輪                     |
| タイヤ荷重  | 前輪側 15.0 t / 輪,<br>後輪側 13.5 t / 輪 |

### 2.2 駆動機構

走行装置は、図2に示すように、クレーンの台車下部の四隅に8輪ずつのゴムタイヤ式車輪を配置しており、独立した4台の電動機により駆動側の走行車輪を同時に駆動する方式になっている。従動輪は駆動輪の回転に追従する。

車輪は、車輪軸および円錐ころ軸受で支持する外輪回転の形式になっている。走行装置の走行操作台は、ポータル前方および後方に設けている。駆動側ユニットはロッカビーム下のバランサ、電動機、電磁ブレーキ（電動機内蔵）、サイクロ減速機、スプロケット、ローラチェーン、スプロケットホイール、車輪軸および車輪により構成し、従動側はバランサ、車輪軸および車輪により構成している。

各走行装置には、走行ステアリング装置を設けている。ステアリング装置は、前後の走行装置をラインシャフトにより連結することで同軌跡のステアリングができる。ステアリング装置は、連結ロッド、バランサ用ブラケット、シリンダお

よびラインシャフトなどにより構成している。

### 2.3 旋回機構

図3に示すように、前後2組合計4本の油圧シリンダにより連結軸を駆動して機械的に全32輪がほぼ旋回中心に向くように旋回機構を構成する。

## 3 解析モデル

多軸、多輪の走行装置においては前後に配置された車軸全てが共通の旋回中心を持ち、内外輪が同心円の軌跡を描けば個々のタイヤの接地面における伝達力が均一になり、旋回および駆動の負荷を最適化できる。しかし、実際の旋回機構では旋回中心のズレ、内外輪軌跡のズレなどにより、個々のタイヤの接地面における伝達力が不均一になり、一部のタイヤに制動力が作用して旋回および駆動の負荷が必要以上に大きくなる。

今般、N港向けに納入された32輪式ジブクレーンは、中間軸で接続された長さの異なる4組（前後対称）のリンクを回転させて旋回させる設計となっている。この4組のリンクは旋回中心に向かって車軸を前後対称に揃えて車体の旋回軌跡を形成させるが、中間軸の剛性を局部的に変化させることにより、リンク伝達力の大小関係と中間軸の捻り角を対応させている。

今回の解析では、別途U港向けに設計を進めていた同種のクレーンで前側2隅をステアリング輪、後側2隅を駆動とする「前2隅旋回、後2隅駆動」と前後の4隅全てをステアリングおよび駆動する「4隅旋回、4隅駆動」方式の対比という観点で検討を進めた。

検討に当たっては3次元機構解析ソフトDADSを使って計算したが、図4に示すように車輪数を8輪に減らして計

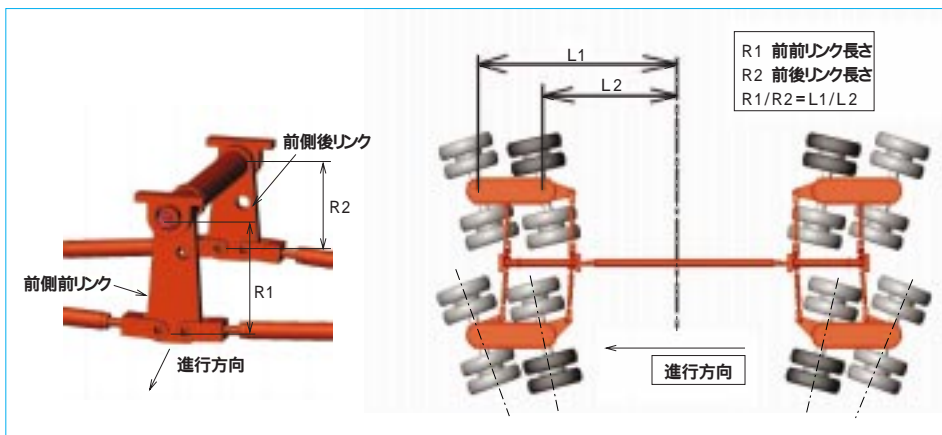


図5 リンク長さとホイールベース  
Link/wheel base

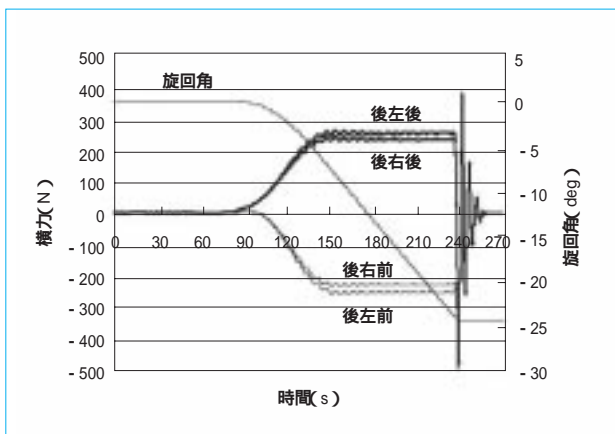


図6 駆動輪横力分担比  
Wheel propulsion force

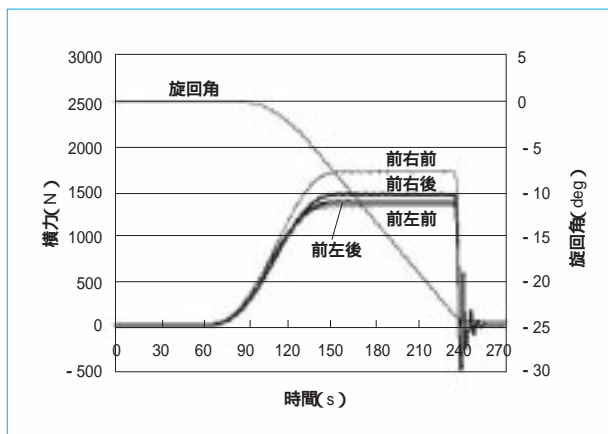


図7 従動輪横力分担比  
Wheel transverse force

算結果判定の煩雑さを回避した。

### 3.1 タイヤ伝達力分担比

多輪駆動の車輛では、全ての駆動輪の回転軸が車体の旋回中心で交われば、全車輪が真円の旋回軌跡を描き、理想的な推進性能が得られる。しかし実際の機構においては駆動輪の車軸は1点に交わらず、その結果駆動輪、従動輪いずれにも横力が生成される。この横力も車輪ごとに異なることから、一部の車輪に横滑りが発生する。したがって、車体の旋回性能を評価するには、この横力の分担比がどの程度分散しているか検討する必要がある。

そして横力の分担比を変化させて極力均一にすれば、旋回性能を最適化できる。

今般のN港向けの場合、前後対称にリンクを操作するが、図5に示すように前側前リンク、後側後リンクの長さをR1、前側後リンク、後側前リンクの長さをR2とすると、このR1、R2の比率をホイールベースの半分(L1/L2の比率)に設定すると、旋回挙動を最適化できることが知られている。そして前2隅のみ旋回させて、後2隅だけを駆動した場合について計算した。その際、リンク長さの比率R1/R2を図5のホイールベース比に合わせると、駆動輪横力(車輪回転軸方向に作用する車輪伝達力)は図6に示すように各輪で均等になることが分かった。また、従動輪横力(車輪回転軸方向に作用する車輪伝達力)は図7に示すように各輪で均等になることが分かった。

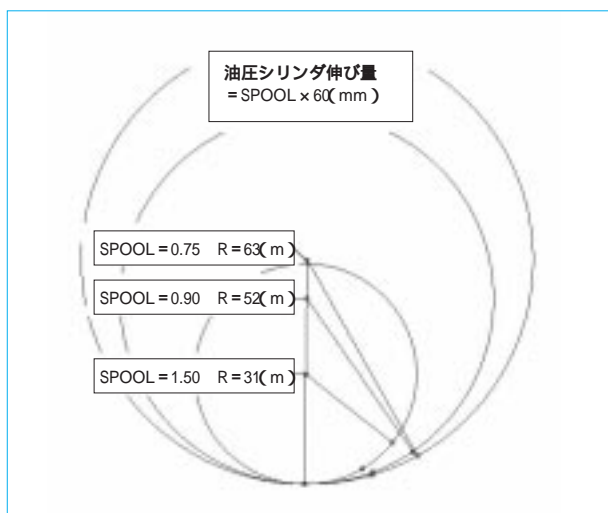


図8 旋回特性  
Steering locus

### 3.2 旋回性能

次に、下記条件で旋回させた時の特性について検討した。

- 油圧シリンダ伸び量 45 mm
- 駆動トルク 5600 Nm
- 旋回時間 150 秒

その際、油圧スプールの動きを種々変更して計算した旋回半径をまとめると、図8に示すような結果を得た。

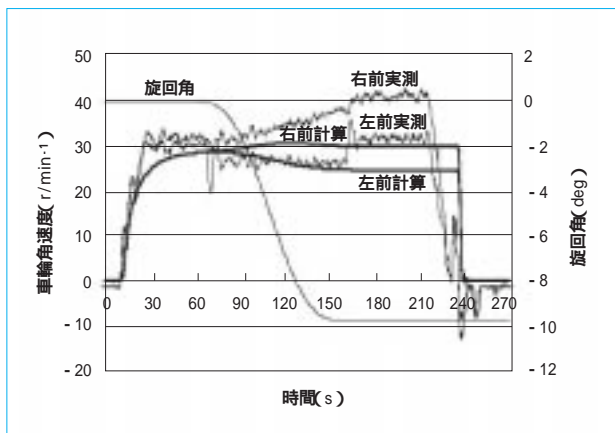


図9 駆動輪角速度：トルク制御  
Angular velocity (Driving wheel) : Torque control

## 4 考察

### 4.1 旋回性能の最適化

旋回中の車輛の内輪と外輪とはそれぞれ旋回半径が異なるので、この旋回半径に相当した操舵角を与えなければならない。この関係を満たす最も基本的なものは、アッカーマンジャントの理論と呼ばれるものである。

すなわち、車輛が旋回する場合、図5に示したように前後輪軸中心線の延長が、車体中心線の延長線と交わる点を回転の中心として旋回させる。その結果、内外輪のタイヤの向きと進行方向が一致して各タイヤに横滑りが発生しないという条件を満足させるものである。しかし実際の機構においては駆動輪の車軸は1点に交わらず、その結果駆動輪、従動輪いずれにも横力が生成される。

この横力も車輪ごとに異なることから、一部の車輪に横滑りが発生する。したがって、車体の旋回性能を評価するには、この横力の分担比がどの程度分散しているか検討する必要がある。そして横力の分担比を変化させて極力均一にすれば、旋回性能を最適化できる。

### 4.2 実測値との比較

実機における走行特性実測に先立って、シミュレーションで推定した結果を実測値と比較したところ、図9に示す結果を得た。

多輪駆動の車輛では、旋回時の駆動力を以下の2種類の方式で制御する場合が多い。

#### 速度制御

駆動力を旋回時外側と内側の車輪の旋回半径の差に対応して、車輪角速度を目標角速度に追従させる。(旋回特性は決まるが駆動力が不均一)

#### トルク制御

駆動力を旋回時外側と内側の車輪の旋回抵抗に対応して、駆動トルクを追従させる。(駆動力は決まるが旋回特性が不安定)

実測時に採用した2種類の制御方式に対応して、シミュレーションにおいても制御モデルを変えて計算した。その結果、トルク制御では旋回時外側の駆動輪の角速度が所定の比率で増加するという実測結果に対して、シミュレーションにおいても実測値に比較的良好に対応した結果が得られた。

したがって、前述のように32輪を8輪に簡略化してモデル化することの妥当性が確認できた。

## 5 むすび

機構解析により各タイヤの接地面における伝達力を計算した結果、以下のような知見が得られた。

旋回機構のリンク長さを調整することにより、駆動輪および従動輪に加わる横力を変化させられることを確認した。

その際、リンク長さをホイールベースの比率に揃えると、駆動輪の横力は駆動輪中心に対称な偶力を生成させることが分かった。

またリンク長さをホイールベースの比率に揃えると、従動輪の横力は従動輪全体で均一分担されることが分かった。

ここまでの経過で得られた知見を活用して、自社技術の完成度を高めることにより、今後発展が期待されるこの種のクレーンシェアの確保を目指していく所存である。

#### (参考文献)

山川淳也, 渡辺啓二, 田中将浩. 多軸車輛の操舵・駆動方式と旋回特性. 日本機械学会論文集(C編) vol.70, no.694, June, 2004.

LMS International. DADS Revision 9.6 Documentation.

自動車技術会編. 自動車工学便覧(新編) Oct., 1984.

# ゴライアスクレーンの連続建造

## Serial Construction of Goliath Cranes

河原 直行\*  
Naoyuki KAWAHARA



ゴライアスクレーンの据付け工事  
Installation of goliath crane

ここ数年来の中国市場などの活況に伴う海運業界の動向に合わせ、国内造船業界の船舶受注量が大幅に拡大している。国内の造船各社は、建造ドックの効率化や古い設備の更新などを目的に大型設備投資を活発化させている。特に、建造ドックで使用するジブクレーンやゴライアスクレーンの大型化更新計画に対し、トップシェアを誇る新型ジブクレーンならびに800 tクラスの新型ゴライアスクレーンで顧客ニーズに対応している。今般、半年間で3台のゴライアスクレーンの連続引渡しと既設ゴライアスクレーンの移設工事も合わせて実施した事例を紹介する。今回の連続建造ならびに移設工事は、設計から引渡しの全フェーズで予測される問題点を社外も巻き込み事前検討を実施し、関係する全組織が一体となり推進した結果である。

Recently, shipping business becomes active and domestic ship manufacturers have many new ship contracts because of activity of Chinese market. Ship manufacturers are making large investments to improve their dockyards and replace old facilities. Sumitomo Heavy Industries Engineering & Services Co.,Ltd. supplies new types of jib cranes, which assume the largest market share, and new goliath cranes of 800-ton capacity to meet the customer needs of crane replacement projects. This report presents the construction and delivery of three goliath cranes in six months, and also the relocation work of an existing goliath crane. For the serial construction and relocation work, preliminary studies were performed involving contractors on potential problems in all phases from the design to delivery. The projects were successfully completed by the collaboration of all the relevant organizations.

### 1 まえがき

ここ数年来の中国市場などの活況に伴う海運業界の動向に合わせ、船舶建造ラッシュにより造船業界は高操業が続いている。国内の造船各社は、建造ドックの効率化や古い設備の更新などを目的に大型設備投資を実施している。

造船建造設備に対しては、1996年に新型ジブクレーンを市場に投入以来70台以上の納入実績を達成し、トップシェアを確保している。

一方、造船所のシンボリックな設備でもあるゴライアスクレーンについては、1995年に800 tクラスの新型ゴライアスクレーンを開発し市場に投入した。国内造船所には、ほとんどが200 tから300 tクラスのゴライアスクレーンが稼働してお

り、その建造ドックに800 tクラスのゴライアスクレーンを搭載するにはいくつかの技術的課題を克服する必要があった。ポイントとしては、次の2点である。

走行路などの既存基礎に搭載可能であること。

稼働中のドックでの操業への影響を最小限にすること。

この課題を解決するべく、新型ゴライアスクレーンは下記の特長を有するものとした。

高張力鋼を使用して自重を軽減している。

コンパクトな上トロリーおよび下トロリーを実現し、移動体の重量を軽減している。

短納期対応および据付け期間を最短化している。

1995年に市場に投入以来、現在までに納入した800 tクラス新型ゴライアスクレーンは、製作中の1台を含め11台の

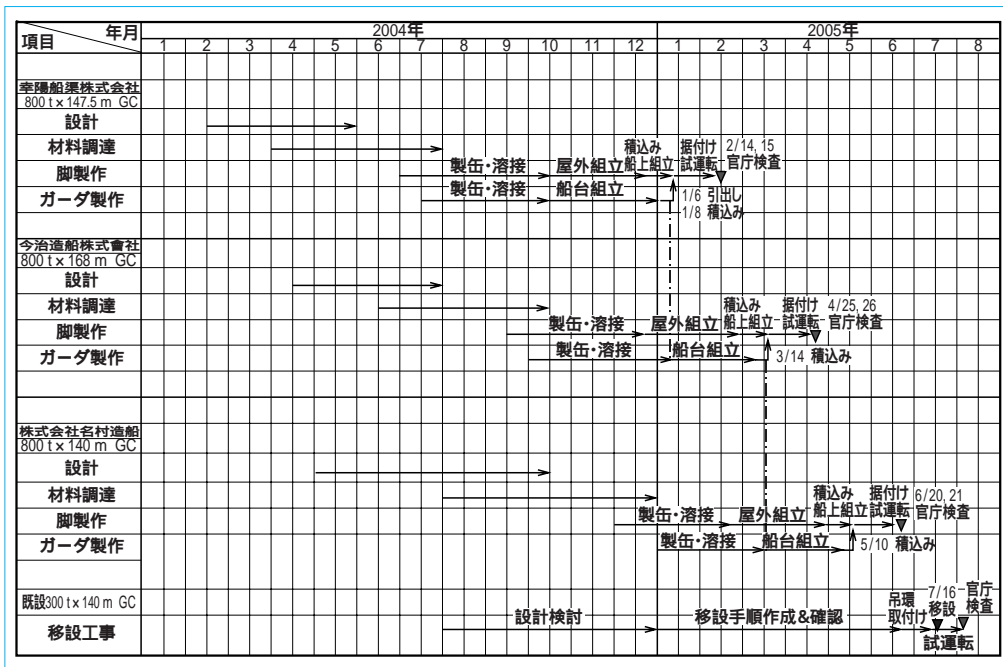


図1 ゴライアスクレーン連続建造工程表  
Construction schedule of goliath crane

表1 ゴライアスクレーンの主要仕様  
Main specification of goliath crane

| 品名           | 800 t x 147.5 m GC | 800 t x 168 m GC | 800 t x 147.5 m GC |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 納入先          | 幸陽船渠株式会社           | 今治造船株式会社         | 株式会社名村造船所          |
| 台数           | 1                  | 1                | 1                  |
| 定格荷重 (t)     |                    |                  |                    |
| 上トローリーフック下   | 400 t x 2          | 400 t x 2        | 400 t x 2          |
| 下トローリーフック下   | 400                | 400              | 400                |
| 吊りビーム下       | 700                | 700              | 720                |
| スパン (m)      | 147.5              | 168              | 140                |
| ホイールベース (m)  | 35                 | 35               | 35                 |
| 揚程 レール上 (m)  | 65                 | 65               | 65                 |
| レール下 (m)     | 7                  | 11.5             | 7                  |
| 運動 / 速度      |                    |                  |                    |
| 上トローリー       |                    |                  |                    |
| 巻上げ (m/min)  | 24/10/8            | 24/10/8          | 20/10/7.2          |
| 横行 (m/min)   | 60/40              | 60/40            | 40                 |
| 下トローリー       |                    |                  |                    |
| 巻上げ (m/min)  | 24/10/8            | 24/10/8          | 20/10/7.2          |
| 補巻上げ (m/min) | -                  | -                | -                  |
| 横行 (m/min)   | 60/40              | 60/40            | 40                 |
| 走行 (m/min)   | 60/40              | 60/40            | 40                 |
| 電源           | AC6600V, 60Hz, 3   | AC3300V, 60Hz, 3 | AC6600V, 60Hz, 3   |

実績にのぼり、市場を独占している。特に、2005年2月から7月の間に3台の800 t ゴライアスクレーンを連続納入するとともに、既設300 t ゴライアスクレーンの1台を移設した。

以下、その概要について紹介する。

## 2 主要仕様

連続建造した3台のゴライアスクレーンの主要仕様を、表1に示す。

## 3 連続建造工程

3台のゴライアスクレーン連続建造ならびに1台の既設ゴライアスクレーン移設工事の全体工程を、図1に示す。

## 4 連続建造時の設計、調達および製作段階での対応

各3台の800 t ゴライアスクレーンは、2004年2月末から3月末にかけて受注が決定し、それぞれの納期が2005年2月、4月および6月という短納期であった。そのことから、1台の全備重量が2500 t 以上もある大型クレーンを各契約納期とりに納入するべく、設計から調達および製作工程において各種の対策を実施した。

### 4.1 設計段階

長納期品（フック、ベアリングなど）および特殊購入品を早期に集中手配する。

駆動装置関係の機械品および電機品の共通化を図る。過去の不具合箇所をリストアップし、再発防止を徹底する。

### 4.2 調達関係

特に、材料調達については市場での高張力鋼を含めた厚板の需要が急激に増加してきたことから、住友重機械工業株式会社の資材部門と連携して高炉メーカーへ協力を要請するとともに、客先へも要請し材料確保に努めた。

調達先とのコミュニケーションを図り、品質および納期について十分なすり合わせを実施した。

### 4.3 製作関係

ゴライアスクレーンの主構造部分は、ガーダ、剛脚および揺脚から構成されるシンプルな構造の門形構造である。スパンが140 m ~ 168 m、ガーダ下面が地上から70 m超と非常に大型の構造物であるとともに、橋梁のように固定される構造物と違い建造ドックを跨いで800 t の荷重を吊り下げながら移動する必要がある。また、既設ゴライアスクレーンとの共吊りにも対応することから、隣接のゴライアスクレーンとの寄りを最小限にする必要がある。構造物の断面寸法を最適化しながら強度的にも十分でかつ荷重などによる撓みや倒れを最小限にするために、主たる構造物の材質は、高張力鋼SM570TMCを採用した。また、その製作精度や溶接品質を確保するべく、主たる構造部分の製作先を固定し、連続建造を実施した。

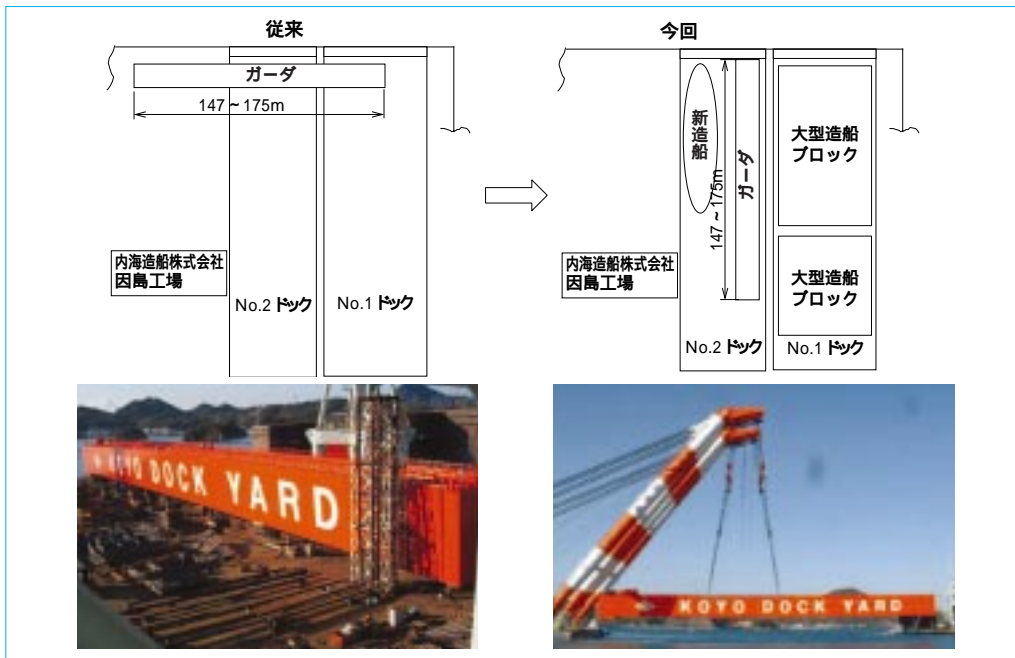


図2 ガーダ製作状況  
Construction of girder

特にガーダ部分については、1995年に新型ゴライアスクレーンを開発した時から内海造船株式会社因島工場（旧株式会社ニチゾウアイエムシー）に製作外注し、共同で製作方案を確立してきた。しかしながら、今回の3台の連続製作においては従来の製作方法で製作できない状況であり、新たな課題を共同で解決した。課題となったポイントは、下記のとおりである。

従来、岸壁に平行にガーダブロックを繋ぎ合わせた後、フローティングクレーンで吊り上げて輸送用バージ上に搭載していたが、製作先の操業の関係で不可能になった。

製作先のNo.2ドック内でガーダブロックを繋ぎ合わせた後、ガーダ全体を縦方向にドック内より引き出し、フローティングクレーンで吊り出す方を検討する必要があった。

No.2ドックは、傾斜40/1000が付いた船台であるとともに、フローティングクレーンのアウトリーチの関係より傾斜船台よりガーダを約5mすべり出す必要があった。

上記課題を克服するべく製作先と種々検討を重ね、図2に示すように、傾斜船台で船を建造し進水させる方法を利用した。ガーダ部分を一体化した後、約5m海側に滑り出してからフローティングクレーンにより縦方向にガーダを吊り上げ、輸送用バージに搭載させることができた。

一方、脚関係、トロリー関係、走行装置および吊具関係は、住友重機械エンジニアリング サービス株式会社新居浜工場で作るとともに、トロリーおよび走行装置は無負荷試運転を実施し、機能確認を行い品質作込みを実施した。

特に、電気制御関係のシーケンスチェックなどは、運転席に配置される操作卓と制御盤の組み合わせ検査を実施し、品質確認を行った。

## 5 据付け工事

新型ゴライアスクレーンを操業中の建造ドックに据付け搭載する場合、各造船所の操業への影響を最小限に抑えけるとともに、客先の船の進水時期とのタイミングを見ながら据付け



図3 据付け状況  
Installation condition

日時を決定する必要がある。そのことから、客先と据付け日、据付け時の建造ドック側のスペース確保、輸送バージならびにフローティングクレーンの接岸、海上作業区域の制約など事前に十分な打ち合わせを実施した。そして、海上保安庁などの許認可、造船所周辺の企業、漁業組合などへの説明および協力要請を実施している。新型ゴライアスクレーンの据付けは客先の操業への影響を最小限にするべく、3000t級の大型フローティングクレーンによる一体据付け工法を考案し、据付け期間の最短化を実現してきた。

概略据付け手順は、次のとおりである。

剛脚ならびに揺脚上部を地上に仮置きまたはバージ上に設置する。

上トロリーならびに下トロリーを輸送バージ上にてガーダに搭載する。

ガーダをフローティングクレーンにて吊り上げた後、仮置きしている揺脚上部とガーダを接合する。

同様に剛脚上部をガーダと接合する。

揺脚下部と走行装置が一体となっているブロックを輸送バージ上でガーダ部分と結合する。

同様に、剛脚下部と走行装置が一体となっているブロックをガーダと結合する。

一体となったゴライアスクレーンをフローティングクレーンにて建造ドックの搭載場所に据付けする。据付け状況を、図3および図4に示す。



図4 据付け状況  
Installation condition

図4に示されているように、1台の3000t級大型フローティングクレーンによりガーダ部分の中央付近を一体で吊り上げるには、ガーダの強度検討が重要となる。通常、ゴライアスクレーンのガーダは、上トローリーならびに下トローリーの移動体重量、荷重およびガーダ自重が下向きに作用した状態で強度が満足されるように設計されている。しかしながら、フローティングクレーンでガーダ中央部を吊り上げる場合は、両脚の重量などがガーダ両端に作用することから、通常の稼働状態とはまったく逆の荷重条件となる。このことから、通常のガーダ強度検討を実施した後、据付け時の各条件によりガーダ強度を再検討し、最終断面強度を確認している。特に座屈強度および吊環設置箇所の局部強度については、十分な強度検討が必要となる。

建造ドックにゴライアスクレーンを一体据付けする場合、ドック水門付近での操業に影響が出る期間は約4日間程度である。据付け2日後には走行運転が可能となることから、操業状況によっては退避運転を行い、操業に支障がない位置まで移動する。据付け後の総合試運転を経て、各運動機能の確認ならびに荷重試験などを実施し、最終的に所轄労働基準監督署による官庁検査を受け、客先竣工検査をもって引渡し完了となる。

据付け開始から引渡しまで約40日の据付け試運転期間により垂直立ち上げを実現し、客先の操業への貢献を果たしている。

## 6 既設300tゴライアスクレーンの移設工事

今回、株式会社名村造船所に800tゴライアスクレーンを納入するに当たり、既設300tゴライアスクレーン（他社製）の2台の内、1台を増設されるブロック建造ヤードに移設する工事も受注した。このクレーンは、昭和40年代に造船所が建設されると同時に納入されたものである。移設工事での問題点は、次のとおりである。

移設期間の最短化と移設後のスムーズな再稼働が求められる。

ガーダなどの構造物の強度的観点から大幅な解体/再組立工法が採用できない。

上記課題を解決するべく、2台のフローティングクレーンによる一体吊り運搬方式による移設工事を採用した。

新たな設置場所であるブロック建造ヤードは、現建造ドックとは90度方向転換が必要で、約500m離れた場所にあることから、このような移設工法は世界的に見ても初めての試みであった。移設工事検討は、深田サルベージ建設株式会社と共同



図5 既設ゴライアスクレーンの移設工事  
Removal of existing goliath crane

で実施し、安全面、技術面および品質面のあらゆる観点から予測できる問題点を洗い出し、対策を実施した。特に、事前調査ならびに検討課題となったポイントは、次のとおりである。

他社製ゴライアスクレーンであることから、現状での全備重量ならびに全体重心位置の確認。

移設後の性能確認を行う前に、現状のクレーン構造部分、機械部分および電気部分の健全性の確認。

2台のフローティングクレーンの海上移動時の挙動とゴライアスクレーンへの影響度合い。

2台のフローティングクレーンの間隔保持方法。

90度方向転換を行うためのフローティングクレーンの操船方法。

上記課題を調査ならびに検討した結果、最終的には、移設工事本番の前日にリハーサルを兼ねて、移設先から逆に建造ドックに移設工事の逆手順で無負荷状態におけるフローティングクレーンの海上移動を実施し、移設工事の手順を確認し、本番に備えた。また、深田サルベージ建設が今回の移設工事に開発したゴライアスクレーン据付け作業管理システムを搭載した。このシステムは、位置誘導システム、姿勢管理システムおよび荷重管理システムから構成されている。ゴライアスクレーンならびに各フローティングクレーンにGPS受信機を設置し、ゴライアスクレーンとフローティングクレーンの相互位置関係を監視する。ゴライアスクレーンに光ファイバジャイロ高精度加速度計測装置を設置し、3次元の動揺を計測し、事前に設定した許容外力との比較監視を行った。また2台のフローティングクレーンの荷重データを一元化し、2台のフローティングクレーン船の荷重計を監視した。移設当日は天候にも恵まれ、無事移設工事を終えることができた（図5）。

## 7 むすび

今回のゴライアスクレーンの連続建造は、市況の影響による鋼材等素材関連の入手性が納期に影響したが無事達成できた。

ガーダ製作先と一体となった調達・製作面での品質および工程管理が達成できた。

移設工事については世界的に見ても初の試みであったが、事前検討を十分に実施するとともに深田サルベージ建設との協力により無事完工することができた。

幸陽船渠株式会社、今治造船株式会社ならびに株式会社名村造船所の各社の協力に感謝の意を表す。

# 高機能フィルムロール用クリーン搬送システム

## Clean Material Handling System for High Functional Film

長部 洋介\*  
Yosuke OSABE

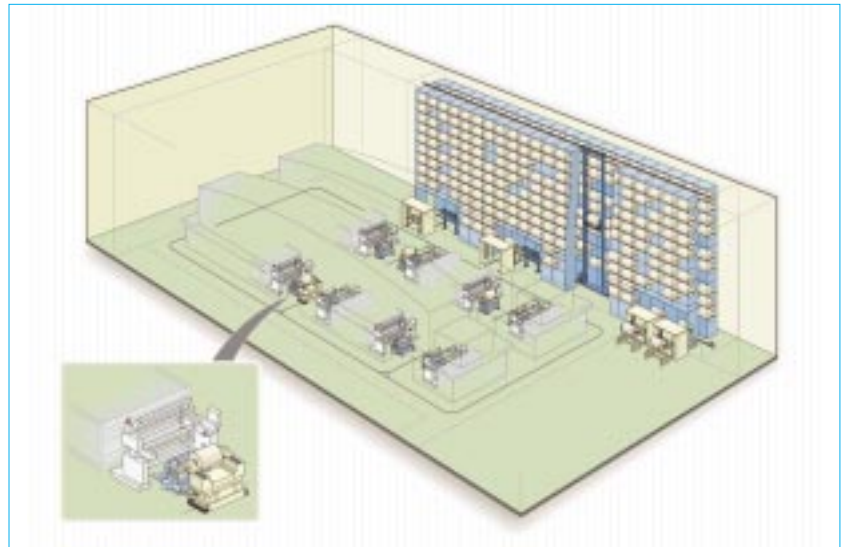


図1 システムの概観  
Overview of system

### 1 はじめに

近年、市場ではブラウン管テレビから液晶テレビやプラズマディスプレイテレビなどのFPD (Flat Panel Display) に買い替える動きが活発となってきている。FPDには光学的な特性を改善するべく、幾種もの高機能フィルム材料が貼り合わせ使用されており、この特性が最終製品の品質特性に大きな影響を与える。これら高機能フィルムの生産現場では、コンタミの混入による欠陥発生を防止するべく、クリーン環境維持に対する要求が強い。クリーンな生産環境の維持に、マテハン・搬送システムに対しても単体機械の対クリーン環境性だけでなく、如何にして人の介在を少なくしてクリーン度を維持するか、如何にして搬送をシンプルにして塵埃を持ち込まないようにするかなど、システムの構成・運用計画全体に対する要望も多い。

当社はこれまで製紙業界、印刷業界および軟包装業界などで数多くのロールハンドリング・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で顧客から高い評価を得ている。この長年培ってきたロールハンドリング技術・システム化技術とクリーン環境対応技術とを融合させ、高機能フィルムロール用クリーン搬送システムとしてラインナップし、市場に提供している。

本報では、そのクリーン搬送システムを紹介する。

### 2 特長

高機能フィルムロール用搬送システムの概観を、図1に示す。

本システムの主な特長は、次のとおりである。

フィルムロールの格納から搬送、コータ機などの生産

機への原反ロール・製品ロールの着脱を自動化し、人による塵埃の持込みをシャットアウトした無人搬送システムである。

フィルムロールのコアを直接ハンドリングすることで、パレットなどに付着した塵埃を生産現場に持込むことを防止したクリーン搬送システムである。

クリーン環境に対応し、塵埃の発生を防止したマテハン・搬送装置により構成されたクリーン搬送システムである。

自動倉庫内の最適なクリーンエアフローの実現により、フィルムロールへの塵埃の付着・庫内での塵埃の滞留を防止したクリーン自動倉庫である。

### 3 構成装置

高機能フィルムロール用クリーン搬送システムを構成する、特長ある装置群の一端を以下にご紹介する。

#### 3.1 クリーンスタッカ

スタッカクレーンのクリーン環境対策として、クリーン度クラス1000までであれば摺動面にステンレス材を用いたり、FFU (Fun Filter Unit) 付きのカバーで可動部を覆い磨耗粉が外部に流出しない様に対策を行うのが一般的である。当社ではこれらの対策に加えて、スカラーム式の移載装置を具備したスタッカクレーンをラインアップに加えた。スカラーム式移載装置を、図2に示す。

スタッカクレーンの移載装置は棚内で下段に格納されたフィルムロール上で移載動作を行うことから、特に塵埃の発生が少ない機構が望ましい。スカラーム方式はスタッカクレーンの一般的な移載方式であるシャトル方式と比較し、可動部のシール性に優れ塵埃発生が極めて少ないのが特長である。



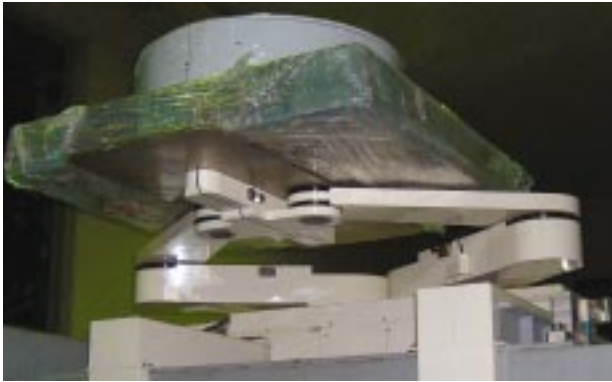


図2 スカラーム装置  
Scalar arm



図4 ロールフィッター  
Roll fitter



図3 コアハンドリングタイプAGV  
Core handling AGV

### 3.2 AGVシステム

高機能フィルムの生産現場では自動倉庫とコータ機などの生産機との間でフィルムロールを搬送する手段として、AGV (Auto Guided Vehicle) システムが採用されることが多い。これは、AGVシステムが搬送経路上に固定設備を持たず、スペース性およびクリーン環境対応性に優れていることによる。

当社では、クリーン環境対応のジャイロ誘導式無人搬送車をベース車輦に、さまざまな移載アタッチメントをラインナップしている。この中でも、特にコアを直接ハンドリングする方式は塵埃の付着したパレットなどを生産現場に持ち込まないことから、クリーン環境対応性に優れている。かつ、直接ロールを搬送することから、空パレットなどの無駄な搬送を必要としない優れた方式である。コアハンドリングタイプAGVを、図3に示す。

### 3.3 ロールフィッター (新製品紹介31頁参照)

ロールフィッターは、フィルムコータ機などの生産機にフィルムロールを自動着脱する装置である(図4)。コータ機などの生産機へのフィルムロールの着脱には、高い移載精度(通常1~2mm)が要求される。これは、着脱時に生産機のチャッキング装置とフィルムロールの芯(コア)との相対的な位置精度が確保できていないと、着脱の成否はもちろんコアとチャックのこすれによる塵埃の発生に結びつくことによる。

当社のロールフィッターは、これまで培ってきたロールハンドリング技術とノウハウに基づき、高い移載精度(1mm以下)を実現した装置である。ロールフィッターの採用により生産機へのロールの着脱時に人手の介在が不要になり、クリーン性および安全性の確保が可能となる。

## 4 クリーンエアフローの解析

自動倉庫内に外部から持ち込まれた塵埃を滞留させずに排除し庫内のロールへの付着を防止するには、自動倉庫内のクリーンエアフローの最適化が必須である。当社では顧客ごとに異なる格納条件に合わせた自動倉庫内のクリーンエアフローの解析を行い、最適なエアフローを提案している。

最適なエアフローを実現するには、全体系でのエアフロー解析に加えて、クリーンストックの構成要素であるスタッククレーンおよびロールなどの基本要素ごとのエアフロー解析が必要となる。また、シミュレーションによるエアフロー解析が実機と相違ないことを評価するべく、ミニチュアモデルを用いた風洞実験を実施している。

以上のステップを踏むことにより、さまざまな顧客の要望に合った確実かつ最適なエアフローの設計を行いクリーン度の高いクリーン自動倉庫を提供している。

## 5 おわりに

当社ではこれまで培ってきた豊富なロールハンドリング技術とクリーン環境対応技術の融合により、顧客の要望に応えられる最適なクリーン搬送システムを提供している。その特長は、次のとおりである。

クリーン環境の維持を実現できるシステム全体運用および構成計画を構築した。

塵埃の発生が極めて少ないスカラーム式スタッククレーンを組み込んでいる。

クリーン環境対応性に優れたコアハンドリングAGVを採用している。

高い移載精度を確保したロールフィッターを組み込んでいる。

顧客の要望に合った最適エアフローを実現している。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た、高機能の商品を提供していく所存である。

# ロープトロリ式橋形アンローダの半自動運転

## Semi-automatic Operation for Rope-trolley Type Unloader

西山 範之\*  
Noriyuki NISHIYAMA



ロープトロリ式橋形アンローダ  
Rope-trolley type unloader

### 1 はじめに

アンローダの運転は、1 サイクル 1 分以下と高速で、かつ荷こぼれを起こさないようにホッパ上で停止した時に荷振れが許容値以内となるように運転しなければならない。このことから、運転者の疲労が激しく、2 時間程度で交代していることが多い。ホッパ投入作業を自動化することで、荷役サイクル中のほぼ半分の時間を監視作業のみとすることができ、運転者の疲労を軽減して、交代間隔を長くすることにより省人化を図ることができる。

この目的で、橋形アンローダの半自動運転装置を開発した。半自動運転で最大の問題となる、振止め制御には新開発の制御（特許出願中）を採用して、手動運転と同等の荷役サイクルを達成したので、ここにその手法を紹介する。

### 2 半自動運転の概要

半自動運転は大別して次の三つの技術から成る。

吊り荷であるバケットを船およびホッパに衝突させないようにルートを設定する技術。

バケット掴み時の沈めおよびたるみ取りの技術。

荷物をホッパ投入する時に荷をこぼさないようにする、振止め機能付きの位置決め制御技術。

特に、振止め制御は多くの事例が発表されているコンテナクレーン用と比較して、残留振れの振幅に対する許容値は緩いものの、所要時間を短くする必要がある。

以下に、三つの技術について個別にその概要を紹介する。

### 3 要素技術

#### 3.1 ルート設定技術

橋形アンローダは、巻上げ、開閉と横行運転により荷役を行っている。

図 1 に、荷役ルートを示す。ルート上で障害となる場所は、船のハッチ口、落粉受けの先端およびホッパである。船のハッチ口の高さは、潮の干満および積荷の減少などにより常時変化しているため、一定の時間経過ごとに再設定の実施を促すメッセージを表示している。落粉受けおよびホッパ位置は変化しないので、制御装置内に固定値として設定している。運転ルートは、横行装置を定格速度まで一気に上げても障害となる 3 ヶ所全てをクリアできる揚程まで巻上げ単独運転を行い、規定揚程迄到達すると横行を起動するように設定している。

#### 3.2 バケット掴み制御技術

バケット掴み開始時には、バケット自重を有効に食込み力とすることから、支持ロープの張力を最低限に保つように制御している。掴み完了前には支持ロープ弛み取り制御を行い、巻上げ開始時の開閉装置過負荷発生防止と過負荷による起動渋滞の結果として発生する荷こぼれの防止を行っている。

#### 3.3 振止め付き位置決め制御技術（特許出願中）

アンローダの振止めの目的は、ホッパ投入時に荷物をホッパからこぼさないのが目的であり、要求される精度は  $\pm 500$  mm 程度であるが、サイクルタイムの要求から振止めに殆ど時間を掛けられない。今回、1 周期減速の考えを基本に、新たな振止め方式を開発した。

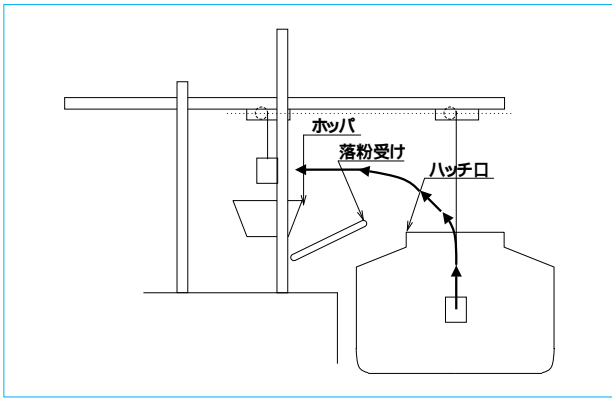


図1 荷役ルート  
Handling route

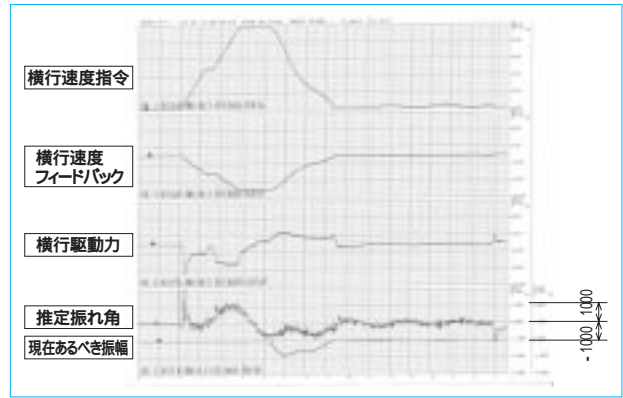


図3 実機運転データ  
Actual operation data

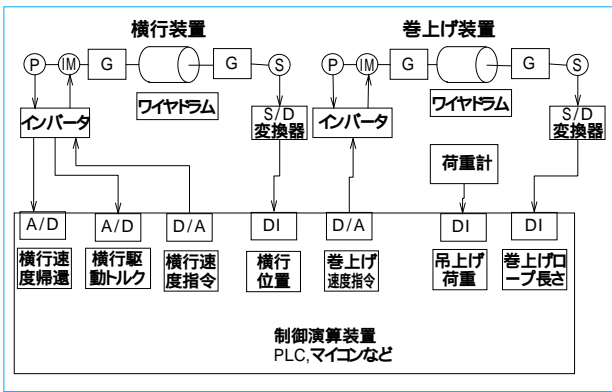


図2 振止め装置システム  
System configuration for anti-sway control

図2に、振止め装置のシステムを示す。アンローダの巻上げ装置は、通常、支持と開閉の二つのウインチにより構成される。振止め運転では巻上げ装置は巻上げロープ長さが振れの周期に関係するのみであるので、図中では一つのウインチで表している。振角検出は、単純に横行駆動装置の駆動力から計算で求められる負荷を減算して吊り荷の加速力を求め、吊り荷の質量と重力の加速度から振れ角 ( $\sin$ ) を求めて、振れ角フィードバック信号とする方式を採用した。

以下に、振止めを目的に制御用演算装置内で行っているロジック(図2には表記せず)を説明する。まず、減速開始点の設定を初期振れなしの場合にパターン制御の代表的例である、等減速度で1周期の時間で静止するように、ロープ長さと現在速度から減速開始点を決定する。初期振れと外乱がなければ1周期で減速が完了し、殆どロス時間がなく、残留振れもなく止めることができる。

次に、初期振れと風などの外乱に対する処置として、現在速度と目的位置までの距離から等減速度で減速し、目的位置でトロリを静止させるべく減速度1と時間を求める。減速度1と目的位置までの距離から停止までの残り時間を求め、周期と残り時間から振れの位相角を求める。減速度1から、振れのベクトルの大きさを求め、位相角とベクトルの大きさより、現在あるべき振幅を求める。減速トルクより推定した現在振幅と前記手法により計算した振幅の誤差を求め、振幅の誤差に応じて計算した減速度2を目的位置で静止させるべく決めた減速度1に加算して減速度3を求める。現在速

度と減速度3から次のスキャンで出力させる速度指令を求めて、インバータへの速度指令を作ることにより、振止めと位置決めを両立させる。

この手法により、1周期減速と殆ど同じ所要時間にて、振止めと位置決め制御を実行することができる。

#### 4 実機での性能確認

図3に、実機運転での計測データを示す。

加速度を急激に変化(特に減速中に加速するなどの動作)させることなく制御しており、横行ロープをしゃくることなく制御を実行している。結果として、振れ角検出結果も滑らかに変化している。また、横行速度変化も直線的に変化していないことで、1周期減速のパターン制御ではなく、初期振れに対応して減速度を変化させていることを示している。

#### 5 新開発の振止め方式の特色

ロートロリ式橋形アンローダは振れ角検出の取付けが困難な構造をしており、従来から横行駆動力から振れ角検出をして振止め制御を行う方式が提案されてきた。しかしながら、ロートロリ式であるがゆえに、ロープのしゃくりと言う外乱から、オブザーバなどの複雑な計算手段を用いて振れ角計算を行って振れ角検出を行っている。

今回開発した振止め方式では、ロープしゃくりの原因となる急激な加速度変更を伴わないので、横行駆動装置の駆動力から簡単な計算で求めた推定振れ角をフィードバック信号として制御することに成功した。

#### 6 おわりに

半自動運転の導入により、

ホッパーへの投入を自動化することにより、運転者は船側での掴み作業に集中することができるようになり、サイクルタイムを短縮できた。

ホッパーへの投入位置精度は手動運転より向上し、ホッパ詰まりを軽減する投入位置に正確に停止できるようになり、ホッパ詰まり発生頻度も下げることができた。

最後に、試運転調整および実荷役運転でのデータ採取に協力頂いた三井金属工業株式会社日比精錬所に感謝の意を表す。

# 新0.9 - 3.5 tエンジン車の作業性向上

## Productivity Enhancement of New 0.9 - 3.5 t ICE Truck

千 藤 隆\*  
Takashi SENDO



図1 New 2.5 t ICE truck

### 1 はじめに

エンジン式フォークリフトは、国内では市場の55%、海外では市場の41%を占めるフォークリフトの主力製品である。近年、フォークリフトは電気式への移行が進んでいるが、依然として、長時間稼働、高密度作業および高負荷作業を行う作業現場では、エンジン式フォークリフトが中心となって使用されている。このような現場では、特に高い生産性を実現する作業速度、長時間稼働が可能な疲れにくいオペレータ環境などが要望されている。

住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 (SN) では、このような市場ニーズに対応して、0.9 - 3.5 tエンジン式フォークリフトの新型QUAPROシリーズを2005年11月に発売した(図1)。

新型QUAPROシリーズの製品コンセプトは、作業性向上と低生涯コストの車輛である。

本報では、基本コンセプトである作業性向上を中心に紹介する。

### 2 作業性向上のコンセプト

作業性の向上は、次の二つの項目により達成する。

一つは、SN規定の作業パターンでサイクルタイムをベンチマーク車輛比10%以上短縮することである。

本作業パターンは、SNのターゲット顧客である倉庫・運輸業におけるトラックへの荷揚げおよび荷下ろしの作業をパターン化したコースである(図2)。

もう一つは、長時間作業を行っても、疲れにくいオペ

レータ環境を実現することである。

疲れの評価はSNテストオペレータによる官能疲れ評価試験により評価し、ベンチマーク車輛より5%以上優れていることとした。

### 3 サイクルタイムの改善

フォークリフトの作業サイクルパターンで、最も代表的なパターンは規格MIL-STD-268Cで、坂路走行やスラローム走行やクランク走行やラフ路走行や低・中・高揚高荷役作業までの全てのフォークリフトの作業が含まれるコースである。しかしながら、本コースパターンは今回開発した小型車の代表的な作業サイクルとは異なるので、小型車の実際の作業パターンの調査結果を基に高密度サイクルを設定した(図2)。本サイクルパターンの作業時間をYとして、6にてテスト・分析した結果、加速性能、リフティング性能、ロアリング性能および直進性の寄与度が高く、これらの性能を改善することによりサイクルタイムを短縮することが可能であることが分かった。そこで次のような性能を改善することとした。

ディーゼル車においては、最新型・高出力ディーゼルエンジンを採用し、ガソリン車においてはエンジン回転数の高回転化および伝達系の高ギヤ比化、1・2tにおいてはトルクコンバータの高トルクレシオ化を行い、加速、登坂および複合操作性能を向上させる。複合操作性能というのは、走行および荷役作業などの同時操作をした時の荷役性能や加速性能のことである。

ギヤポンプの吐出量の大容量化を行い、トップクラスのリフトスピードを達成し、作業時間を短縮する。

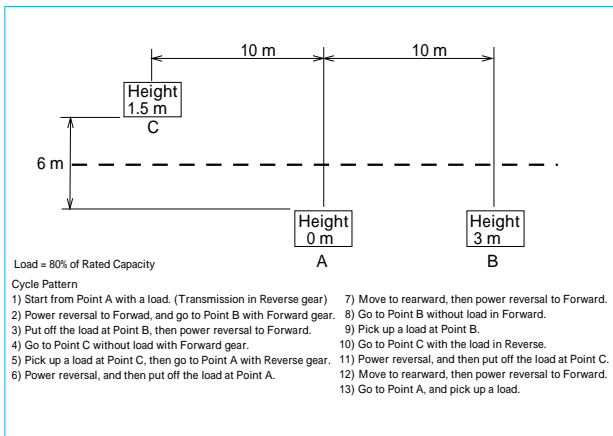


図2 高密度サイクルパターン  
High - productivity cycle pattern

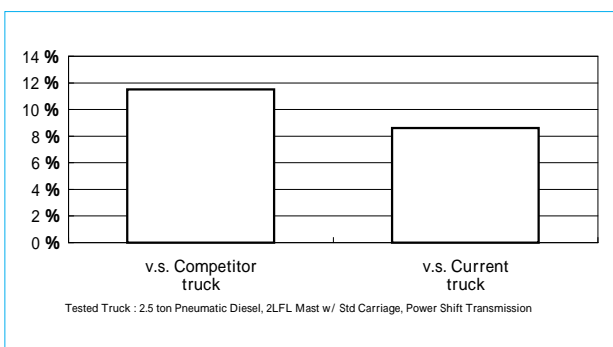


図3 サイクルタイムテスト結果（短縮率）  
Shortening results of cycle time test

新開発のコントロールバルブにより負荷時のフォークのロアリングスピードアップと、無負荷時には負荷時よりさらに早くすることにより作業時間を短縮する。

新開発の全油圧式パワーステアリングを採用することにより優れた直進性と操舵性と旋回性を実現し、作業時間を短縮する。

上記とその他改善項目を実施することにより、サイクルタイムで他社製品（ベンチマーク車輛）比、高密度サイクルにおいて約11.6%の作業時間短縮を実現し、目標製品コンセプトを達成した（図3）。

#### 4 疲れにくいオペレータ環境

疲れにくいオペレータ環境は、操作機器（配置やフィーリング）、シート、運転席スペース、騒音、振動、視界および車輛動作性を改善することにより実現できる。そこで次のように実施した。

運転席廻りの操作装置では、アクセルペダル、ブレーキペダル、インチングペダル、クラッチペダルおよびコントロールバルブレバーノブ位置の最適化を行い、快適な操作性を提供している。

ステアリングハンドルには300 mmの小径ハンドルかつ左に40 mmオフセットしたオフセットハンドルを採用することにより、操舵量の低減を実現した。

従来型はフロア前後スペースが狭く、オペレータ環境にとって最大の弱点となっていた。新型ではフロア前後

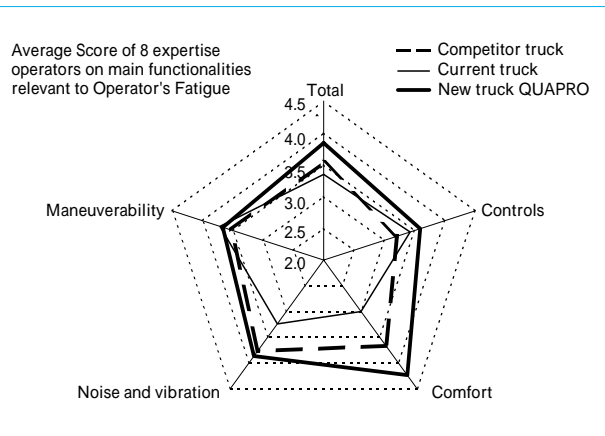


図4 官能疲れ評価結果  
Results of fatigue evaluation test

スペースを従来車比 + 100 mm拡大し、クラストップのフロア前後スペースを実現している。

オペレータシートについては、表皮の硬度を柔らかくし、減衰性能の高いシートを採用し、乗り心地を大幅に改善している。

振動低減構造として、トランスミッションフローティング方式の構造を採用した。この構造は自動車のようにエンジンとトランスミッションのアッセンブリと前軸の間をユニバーサルジョイントで接続し、振動源であるエンジンとトランスミッションを完全に車体や前軸からフローティングさせた方式である。新構造を採用することにより、フォークやマストの振動を大幅に低減させた。さらに、新構造では従来のエンジンマウント方式に比べラバマウントを柔らかくすることができるので、従来方式に比べ中低速域の振動を大幅に低減することができる。

マストチャンネル幅の拡大とマストチェーン間隔の拡大によりマスト間から見える前方視界を改善して、作業時間を短縮している。

上記とその他改善項目を実施することにより、官能疲れ評価試験で他社製品（ベンチマーク車輛）比、5%ポイント改善し、目標製品コンセプトを達成した（図4）。

#### 5 おわりに

QUAPROの開発においては、ターゲット顧客・セグメントの決定、顧客調査によるVOC（Voice Of the Customer）収集、VOC分析から目標コンセプトを決定することができた。

開発コンセプトである作業性の向上において、6 的アプローチにより、論理的展開・結果の数値化ができ、さらに目標値の達成ができた。

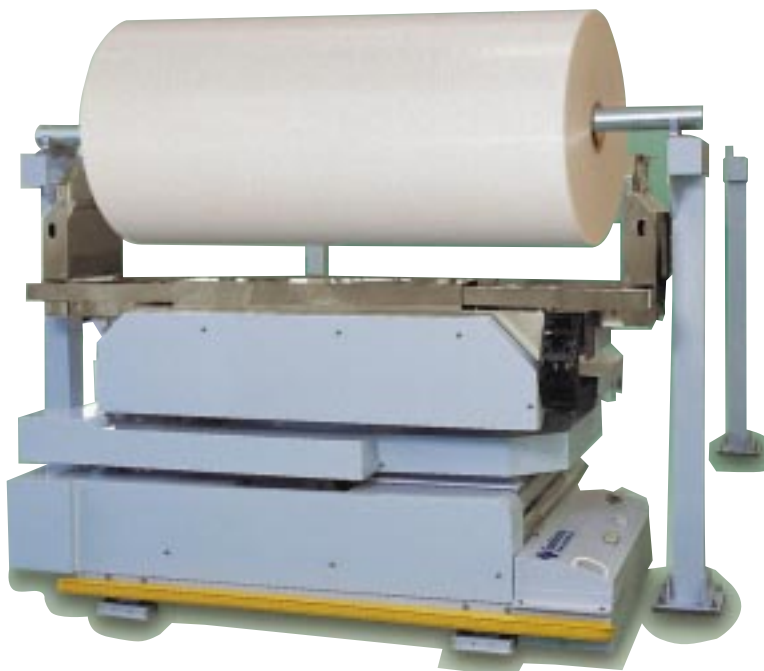
今後も、更なるフォークリフトの市場ニーズを満足する製品の開発に努める所存である。

（参考文献）

- 日本産業車輛協会 . 2004フォークリフト販売台数 .
- Nacco Materials Handling Group, Inc.. Worldwide Competitive Market Share Analysis - 2003.

# ロールフィッター

Roll Fitter



当社は、高機能フィルム生産ラインに設置されるコータなどのターレットと、クリーン環境下において完全自動脱着を実現する移載機『ロールフィッター』を開発した。

従来、ロールのターレットへの着脱は人手で行われていたが、ロールフィッターを採用することにより作業の効率化の推進、無人化によるクリーン性の向上および重量物の無人搬送の安全性の確保を目的とした自動化要望に応えることができた。

## 主要仕様

### 搬送物 コア巻きロール

|         |                     |           |
|---------|---------------------|-----------|
| ロールの受け方 | コア受け / 胴受け          |           |
| ロールサイズ  | 1200 mm             |           |
| ロール幅    | 1500 mm             |           |
| コア径     | 3.6 インチ             |           |
| コア長さ    | 1700 mm             |           |
| 荷重      | 最大1000 kg           |           |
| 受渡し精度   | ± 1 mm              |           |
| 走行速度    | 10 m/min            | (インバータ制御) |
| 昇降      | 2.4 m/min           | (サーボ制御)   |
| 旋回      | 2 min <sup>-1</sup> | (インバータ制御) |
| スライド    | 4.8 m/min           | (インバータ制御) |
| コア受スライド | 9.5 m/min           | (インバータ制御) |
| クリーンクラス | クラス1000対応           |           |

## 特長

直線移動部へのLMガイドの採用、高性能な制御の実現および生産機との一体据付けを実現することにより、高い移載精度± 1 mmを確保し、自動化が困難であったターレットとフィルムロールの完全自動着脱化を実現した。

機体サイズのコンパクト化および移載ブロックのターレット側への移動を可能とすることにより、ターレットの旋回半径の最小化およびターレットベース部の切欠きの最小化を実現した。

クリーン対応部品を使用することにより塵埃の発生を抑え、クリーン1000対応を実現した。また、必要に応じFFUの装備も可能とした。

旋回機能を装備することで、ロールの巻方向合わせに対応した。

レーザーセンサを用いロール端面を検出することにより、巻きずれが発生した場合に自動停止する機能を実現した。

コア受上に荷重検出器を装備することにより、確実なロールの受取りを実現した。

万一のトラブルに対応し、ワンタッチでロールフィッター全体を取り外せる機能を実現した。

(ロジスティクス&パーキングシステム事業部 長部洋介)

# ピッキングカート

## Picking Cart



物流センターで用いられる商品荷揃え用設備・機器には、自動仕分け機、自動倉庫、層ピッカおよびデジタルピッキング表示器などの様々なものがある。

最近ではピースピッキングの効率化を考えていく上で、ピッキングカートを用いたシステムが注目を浴びており、多くの物流センターで導入されている。

当社では、これまで複数の物流センターにマルチオーダー対応（1回に複数出荷先のピッキングを実施）のピッキングカートを多数納入してきたが、今回新たにシングルオーダー対応（1回に一つの出荷先のピッキングを実施）のピッキングカートが製品ラインナップに加わった。

本機はシングルオーダーの作業に特化したものとし、シングルオーダーの作業においては、使い易さの点で既存のピッキングカートからさらに改善がされている。

### 主要仕様

|       |   |
|-------|---|
| 全 長   | 1120 mm                                   |
| 全 幅   | 640 mm                                    |
| 全 高   | 1050 mm（付属品含まず）                           |
| 総重量   | 80 kg                                     |
| 本 体   | アルミフレーム                                   |
| 付 属 品 | カラー液晶タッチパネルコンピュータ、マルチスキャン式スキャナ、シングルスキャン式キ |

ャナ、ラベルプリンタ、テンキーボード、鉛シールドバッテリーおよび充電器

無線通信 IEEE802.11b/g準拠

### 特 長

アルミフレームにより軽量化を実現し、さらに大径キャストの採用およびキャストの配置を工夫することにより、初動荷重を軽減し、取回しも容易になっている。

コンパクトなサイズでありながら、最大4コンテナの搭載ができ、大量出荷のオーダーにも対応が可能である。

大型カラー液晶タッチパネルコンピュータの採用により、操作性が向上している。

中型のラベルプリンタを採用し、各種業界で使用される標準ラベルの出力にも対応が可能である。

メッセージ表示機能、作業実績管理機能、商品マスター照会機能および音声ガイダンス機能などを備え、作業性の向上および管理精度の向上を実現している。

（ロジスティクス&パーキングシステム事業部 森山 剛）

# 動く歩道

## Moving Walkway



21世紀最初の国際博覧会である2005年日本国際博覧会（愛・地球博）が、3月25日から9月25日までの会期で愛知県において開催された。

当社は会場への主要アクセスの一つである西ターミナル（長久手会場）・団体バス駐車場と西ゲートを結ぶ連絡通路へ6台のベルト式動く歩道『スターグライド』を納入して、来場者へ安全で快適な歩行空間を提供することに貢献した。

### 主要仕様

|      |                      |
|------|----------------------|
| 形式   | S - 1000形            |
| 輸送能力 | 9000人/時間             |
| 設置台数 | 6台                   |
| 延べ機長 | 538m                 |
| 踏み段  | 特殊スチールコード入り溝付きゴムベルト  |
| 設置場所 | 愛知県長久手町 愛・地球博 西ターミナル |

### 特長

乗り降り口のコム（くし）とベルト踏み面の間の段差をゼロにした当社独自のフルフラットコム機構を採用し、歩行者や車椅子利用者の乗り降り時の安全性向上を図っている。

ベルト式の特長を生かしたロング構造で、乗り降り箇所の少ない安全で快適な通路を実現している。

装置中間部の高さ28.5cmの超薄型構造物にすることで、地面の掘削量が少なくなり、博覧会のテーマの一つである自然にやさしい設備を実現している。

濡れても滑りにくいベルト式動く歩道は、屋外設置に適している。また、別のタイプであるパレット式に比べ、内部にチェーンなどの錆に弱い部品が少ないことからメンテナンスも容易である。

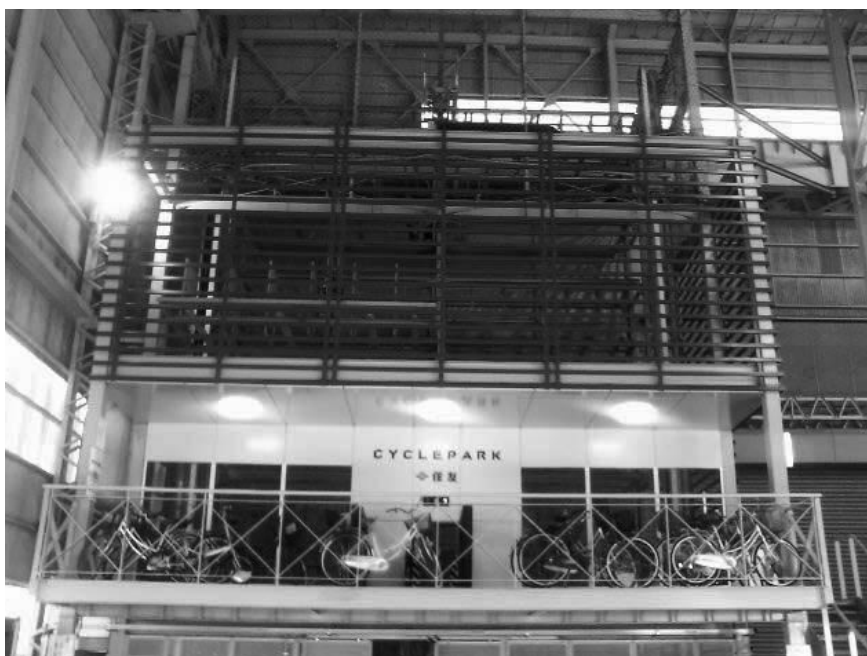
なお、安全で快適な歩行空間を実現するベルト式動く歩道スターグライドは、2005年2月に愛知県常滑市に開港した中部国際空港でも旅客ターミナルビル内に多数設置されており、世界中からの愛・地球博来場者に利用された。

（ロジスティクス&パーキングシステム事業部 小島 正年）



# 機械式駐輪設備

## Mechanical Bicycle Parking Facility



近年、京都議定書に従って温暖化ガス対策を進めている国土交通省が、自転車の利用環境整備に取り組む自治体に対して支援を強化している。また、社会的問題としても注目を浴びている、放置自転車への対策として、収容効率が高く、処理速度の速い機械式駐輪場への期待が高まっている。

市場の要求にマッチした機械式駐輪場の開発を目的として、当社横須賀製造所旧浦賀工場内に『サイクルパーク』を設置し、動作の検証、乗降部での安全性の検証およびデモンストラレーションなどを行っている。

### 主要仕様

|      |   |          |            |
|------|---|----------|------------|
| 方式   | 前輪直接ハンドリングによる方形方式   |          |            |
| 収容能力 | 288台/基(最大)  |          |            |
| 処理能力 | 入庫・出庫 約12秒/台  |          |            |
| 収容車種 | 一般自転車および電動アシスト自転車<br>(マウンテンバイクおよび子供用自転車はオプション)  |          |            |
|      | 全長  | 1900mm未満 | 全幅 600mm未満 |
|      | 全高  | 1200mm未満 | 重量 30kg以下  |
|      | タイヤサイズ  | 18~28インチ |            |
|      | タイヤ幅  | 20~35mm  |            |
| 安全装置 | 音声案内, LED案内表示, 安全フェンス, 乗降部圧力センサ, 侵入検出センサ, 規格外車輛検出センサ(車長, 車幅, 車高), 重量測定装置(前, 後), かぎ掛け検出装置, 地震検出センサ |          |            |

### 特長

方形方式を採用することにより、制限寸法以内であれば、前後にカゴが付いていても収容可能である。(円形方式では、中央側のスペースが狭く、前後どちらかのカゴ付き自転車は収容不能)

前輪を直接ハンドリングすることにより、パレット式の場合のパレット準備動作など無駄動作を省くことに成功した。さらに、自転車を搬送する際の昇降・走行・旋回の3動作を同時駆動することにより、短時間での入出庫作業が可能である。

自転車を収納する棚内に「仕切り板」構造を適用し、カゴあるいはチャイルドシートなど、隣接部に収容される自転車との干渉問題を解消している。

乗降部にフェンス、マットスイッチおよび侵入検出センサを標準装備し、乗降部内への人の侵入を検知し自動停止する。(安全性の向上)

乗降部に自転車重量測定器および自転車サイズ測定器(高さ・長さ・幅)を標準装備し、収容対象外自転車の検知を行い、アナウンスする。(自転車の破損および機械停止の未然防止)

(ロジスティクス&パーキングシステム事業部 大迫 広司)

# 次世代高輝度X線源の開発

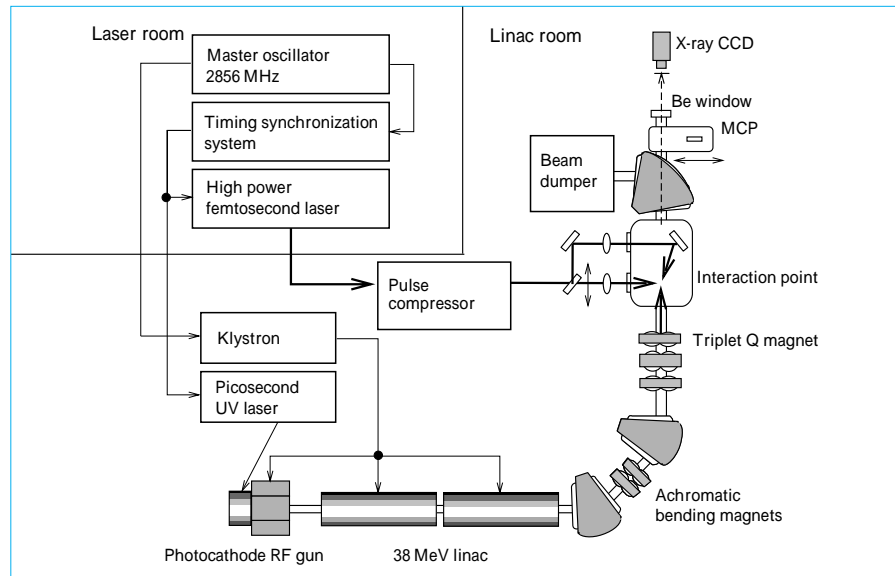
## Development of High-brightness X-ray Source for Next Generation

中條 晃 伸\* 柳田 達 哉\* 酒井 文 雄\*

Terunobu NAKAJYO

Tatsuya YANAGIDA

Fumio SAKAI



高輝度X線発生装置  
High-brightness X-ray generator

近年、レーザ光源技術および電子線技術開発が進展し、レーザコンプトン散乱による次世代高輝度X線源の開発が世界各地で進められるようになった。本手法を用いたX線発生装置は、小型で波長可変であり、大型放射光に限られていた硬X線領域を発生できる高輝度光源である。当社では、フォトカソードRF電子銃から発生させた低エミッタンスの電子線を高密度に収束させ、高輝度フェムト秒レーザと衝突させることにより、最大34 keVのX線を発生可能な高輝度X線発生装置を開発した。また、X線を安定的に発生させるべく、レーザと電子線を高精度に同期させる技術開発を実施している。

本開発の高輝度X線源は、タンパク質構造解析や医療診断用の光源として応用が期待されており、当社では実用化へ向けた更なる強度増加とシステムの小型化を検討している。

Recent advances in a laser and an electron beam technology enabled to develop a next-generation high-brightness X-ray source based on a laser-Compton scattering. The laser-Compton X-ray source is compact and energy-tunable, and can generate a high-brightness hard X-ray which is in the range of third generation synchrotron sources. We have developed a high-brightness source of 34keV X-ray which is emitted by collision between a tightly focused electron beam and a high peak-power femtosecond laser pulse. We have also developed a highly precise timing synchronization system between the electron beam and the laser pulse for the stable X-ray generation. We are considering the improvement in the X-ray source for practical applications such as protein crystallography and medical diagnostic imaging.

### 1 まえがき

放射光に代表される高輝度X線源が利用されるようになって医療診断分野や構造生物学分野などが急速に進展しており、高輝度X線源が必要不可欠となってきている。従来、波長可変性を有する高輝度硬X線源は、大型な放射光施設に限られていた。ところが近年、電子線発生技術および高輝度レーザ光源技術の進展により、電子線とレーザを衝突させる方法（レーザコンプトン散乱）によるX線発生装置の開発が世界各地で進められるようになった。レーザコンプトン散乱によるX線源とは、放射光発生装置で利用されているアンジュ

レータの代わりにレーザがその役割を担うことで装置全体を小型化した次世代の高輝度光源である。この方式でX線を発生すれば、指向性が高く波長可変な硬X線を比較的小規模施設で得られることから、研究室規模での各種X線利用研究が可能となる。最近では大学発ベンチャー企業において、医療診断用高コントラストイメージングやタンパク質の構造解析用システムの光源としてレーザコンプトン散乱による高輝度X線源を利用するという動きがあることから、この方式による高輝度光源の需要が高まってきている。また、衝突用レーザに高輝度フェムト秒<sup>(注1)</sup>レーザを用い、衝突角度を電子線の進行方向に対して90°に設定すると、フェムト秒X線

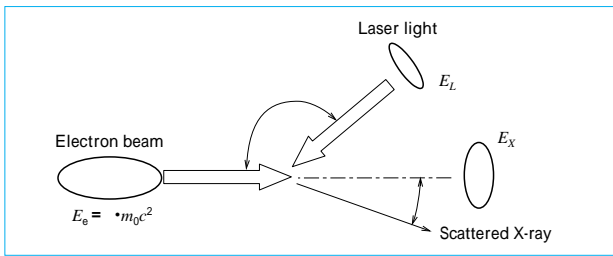


図1 レーザコンプトン散乱概念図  
Schematic of laser-Compton scattering geometry.

パルスの発生が可能となることから、基礎化学分野でのフェムト秒領域における高速反応動解析へ応用が期待されている。このような状況の中で当社では、1996年よりレーザコンプトン散乱による高輝度硬X線発生装置の開発に着手した。RFフォトカソードを電子銃とした高品質電子線発生装置の開発を行い、世界トップクラスの低エミッタンス電子線発生に成功した。高出力フェムト秒レーザの開発および高精度同期技術の開発を実施し、2000年にレーザコンプトン散乱による硬X線発生の原理実証に成功している。以降、電子線エネルギーの増加およびフェムト秒レーザの高輝度化、システム安定化を実施し、最大34 keVの硬X線の安定発生と強度増強に成功した。また、レーザコンプトン散乱X線を利用して吸収・屈折コントラストによる生体観察や材料中の気泡観察など実施しており、本方式のX線の有用性が示されてきた。現在はタンパク質の構造解析などの高輝度光源として実用化に向け、更なるX線強度の増加および発生システムの小型化を検討している。

本報では、レーザコンプトン散乱X線の特徴、本方式によるX線発生装置開発の概要、X線の特性取得および吸収・屈折コントラストによるイメージングについて報告する。

## 2 レーザコンプトン散乱X線の特徴

レーザコンプトン散乱とは、相対論的電子と入射光子（レーザ）との衝突により、入射光子の波長が短波長側にシフトする現象である。図1に、レーザコンプトン散乱X線の発生過程を示した。図1に示すように、入射レーザの光子エネルギー $E_L$ 、レーザ入射角度 $\theta$ 、X線散乱角度 $\theta_s$ と定義すれば、散乱X線のエネルギー $E_X$ は、次式のように記述できる。

$$E_X = \frac{1 - \cos \theta_s}{1 - \cos \theta} E_L \dots\dots\dots$$

$$= \frac{1}{1 - \beta^2 \cos^2 \theta_s} E_L$$

ローレンツ因子  
電子速度と光速の比

式は、 $E_L \ll m_0 c^2$  ( $m_0 c^2$  電子静止エネルギー) が成り立つ場合、トムソン散乱と近似できることから求められる。式のとおり、レーザコンプトン散乱X線は、電子線およびレーザのパラメータを設定すれば、散乱X線の角度を定めることでX線エネルギーが一義的に決定できるという準単色なX線である。また、電子線のエネルギーやレーザの入射角を変えれば、容易にX線のエネルギーを変えることが可能である。さらに、発生したX線は指向性が高く、半数が $1/\sqrt{2}$ の発散角

内に分布する。

衝突点より発生するX線の全光子数は、 $\tau$ をトムソン散乱の断面積、 $N_p$ 、 $N_e$ を光子、電子の個数、 $S$ を電子線とレーザの幾何学的に重なり合う面積とすれば、簡略的に次式となる。

$$N_X = \frac{N_e N_p}{S} \tau \dots\dots\dots$$

式のとおり高強度のX線発生には、電子線およびレーザを高密度に絞り込むことが必要となることから、空間電荷効果を抑えた低エミッタンスな電子線開発とレーザ媒質での波面歪を抑えた高品質レーザの開発が要求される。その要求に対し、当社では、RFフォトカソードを電子銃とした高品質電子線発生装置および波面制御を導入した高出力フェムト秒レーザの開発を実施した。

## 3 次世代高輝度X線発生装置

本開発の高輝度X線発生装置の主構成は、高品質電子線発生システム、高出力フェムト秒レーザシステムおよび高精度同期システムである。全システム構成を、冒頭の図に示す。

高品質電子線発生システムは、フォトカソードRF電子銃、カソード照射用レーザおよび電子線伝送システムから構成される。カソード照射用レーザは、半導体過飽和吸収体を用いた受動モードロック方式で安定なレーザ発振を実現したピコ秒<sup>(注2)</sup>発振器と再生増幅器からなる紫外レーザ(波長262 nm、エネルギー200  $\mu$ J)である。電子銃内の銅カソード面へのレーザ照射により発生させた光電子は、空間電荷効果によるエミッタンスの増大を抑えるべく直後の加速管で4 MeVまで加速される。多少のビーム品質の劣化は、ソレノイドコイルで補正することが可能で、高品質な電子線を維持したまま衝突点へ伝送できるシステムである。その後、2基の直線加速器により最大38 MeVにまで加速され、エネルギー分散補償型の偏向電磁石群により90°に曲げられる。これは、電子銃や加速管からの暗電流によって引き起こされる雑音のX線測定系への影響を低減させる効果がある。電子線は四重極電磁石群で収束され、衝突点にてレーザと衝突した後、90°に曲げられてX線の軌道外でダンプされる。電子線の電荷量は1.0 nC、パルス幅 3 ps<sup>(注2)</sup> (rms)、収束点におけるビーム径は30  $\mu$ m (rms)である。

衝突用の高出力フェムト秒レーザとして、チタンサファイアレーザを用いた。フェムト秒モードロック発振器、パルス伸長器および再生増幅器と2段のマルチパス増幅器は、安定運転させるべく加速器室とは別のレーザ専用室に設置した。増幅パルスは加速器室内のパルス圧縮器で圧縮後、電子線との衝突点まで伝送される。衝突点でのパルスエネルギーは最大200 mJ、パルス幅は20 fs<sup>(注1)</sup> (rms)、集光径は10  $\mu$ m (rms)以下である。

レーザコンプトンX線を安定発生させるには、電子線とレーザを高精度に同期させる必要がある。本開発では、加速器の共振周波数である2856 MHzの高安定RF信号源を基準信号とし、カソード照射用レーザと衝突用レーザを同期させている。レーザ発振器のパルスタイミングは、共振器長を調整することで制御でき、位相同期ループ法により参照RF信号とレーザの同期を行い安定化させることができる。従来、レー

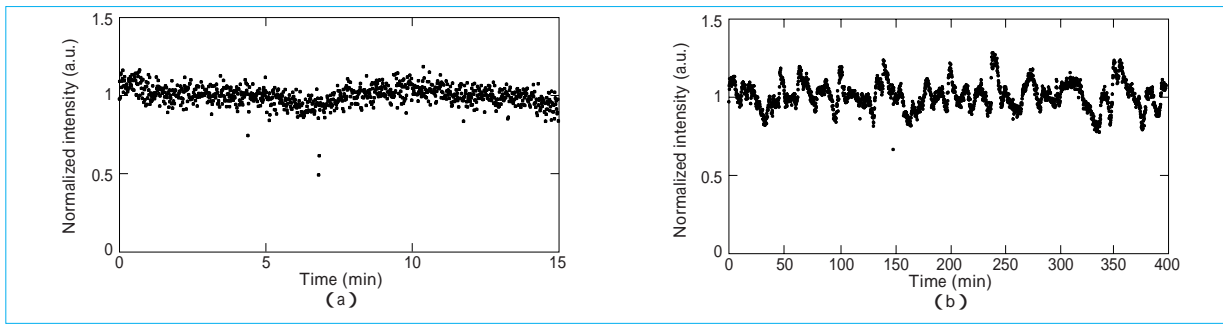


図2 X線強度変動計測結果 165°衝突, 90°衝突  
X-ray intensity fluctuation 165° collision, 90° collision

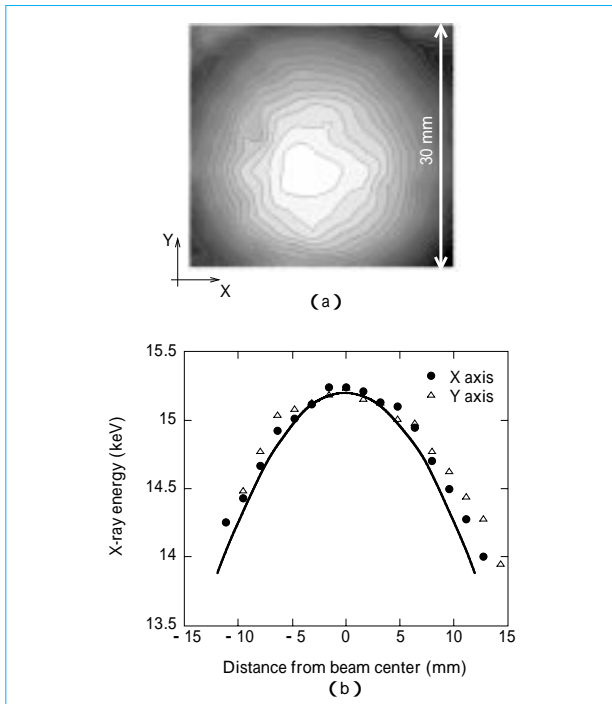


図3 X線エネルギー分布 2D分布, 断面 (実丸と白三角 測定値, 実線 計算値)  
X-ray energy distribution (a) 2D distribution (b) Cross-section of 2D distribution (Solid circle and Open triangle: Experimental data for distribution X and Y axis, Solid line: Theoretical calculation).

と加速器の共振周波数が異なることから、基準RF信号を電氣的に分周した79.3 MHzのRF信号をレーザの基準信号として利用していた。ところがこのシステムでは、分周器のジッタによりX線の安定発生が困難であることが分かり、より高精度の同期回路の開発が急務とされていた。そこで新型の同期システムでは、2台のレーザの基準RF信号として分周器を介することなく直接参照できる方法を採用した。この方式をとれば位相同期ループ法の高精度化に有効であり、基準RF信号とレーザ間の相対ジッタを10 fs (rms) 以下にまで低減できる。

一方、加速器に入力されるRFの増幅過程でもジッタが発生する可能性があることから、位相同期ループ制御を行い、遅い揺らぎ成分を1 ps (rms) 以下にまで低減させた。

#### 4 X線特性

X線強度測定にはMCP (Micro Channel Plate) を用いた。165°衝突では発生点で最大  $2 \times 10^6$  photons/pulseのフォトンが得られ、90°衝突では最大  $5 \times 10^5$  photons/pulseが得られている。図2に、165°衝突における短時間X線強度変動と

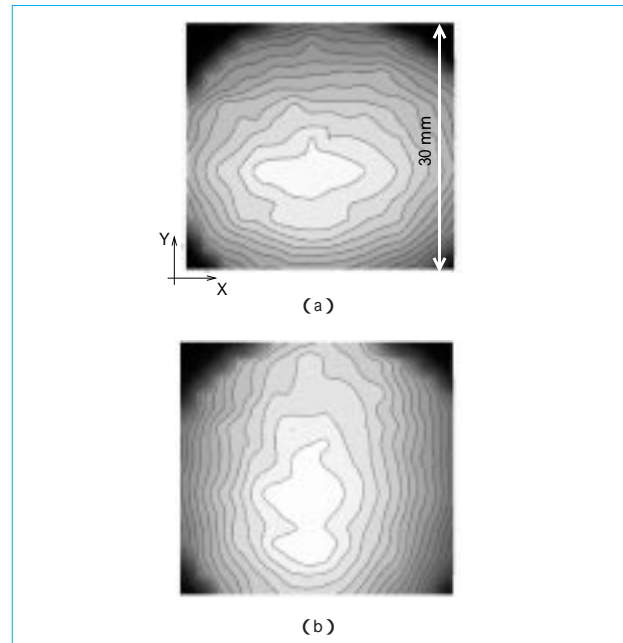


図4 X線強度分布 レーザS偏光, レーザP偏光  
X-ray intensity distribution. (a) S-polarization, (b) P-polarization.

90°衝突における長期間強度変動を示した。X線安定度は165°衝突において15分間で6% (rms) であり、90°衝突については、7時間で7.9% (rms) であった。7時間も長時間連続運転を達成し、本開発のX線発生装置が高い安定性を有していることが分かる。このX線の揺らぎは、主に励起レーザの出力揺らぎ (5% (rms)) であることが分かっており、高輝度レーザの全固体化開発により安定度がさらに向上するはずである。

レーザコンプトン散乱で発生するX線はコーン状に広がり、そのエネルギーは発散角で規定される。X線のエネルギー分布は、中心が最も高いエネルギーで角度が大きくなるにつれエネルギーが低くなる。X線のエネルギーの2次元分布を確認するべく、直接検出型のX線CCD (Princeton Inst. 社製, PI-LCX1300, 画素数1340 × 1300, 画素サイズ20 μm) を用いて強度分布を測定し、その取得データを波高値分析した。X線エネルギー分布測定結果を、図3に示す。結果から、X線の発散角の違いでそのエネルギーが同心円状の分布していることが分かり、その分布は理論計算とほぼ一致した。X線の強度分布の測定結果を、図4に示す。レーザ偏光を変えることでX線の強度分布が変化することが分かる。これは、レーザ偏光に対して散乱微分断面積が異なっていることによ

表1 X線実験パラメータ  
Typical experimental parameters of X-ray generation

| Electron beam           |                               |                               |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Energy                  | 38 MeV                        |                               |
| Charge                  | 0.8 nC                        |                               |
| RMS pulse width         | 3 ps                          |                               |
| RMS beam size           | 30 $\mu$ m                    |                               |
| Normalized emittance    | 3 mm·mrad                     |                               |
| Laser                   |                               |                               |
| Wavelength              | 800 nm                        |                               |
| Pulse energy            | 150 mJ                        |                               |
| RMS pulse width         | 50 fs                         |                               |
| RMS beam size           | 10 $\mu$ m                    |                               |
| X-ray                   |                               |                               |
| Incident angle          | 180 °                         | 90 °                          |
| Maximum energy          | 33.7keV                       | 17.1keV                       |
| Total number of photons | $2 \times 10^6$ photons/pulse | $5 \times 10^5$ photons/pulse |
| RMS pulse Width         | 3 ps                          | 150 fs                        |
| Repetition rate         | 10 Hz                         | 10 Hz                         |

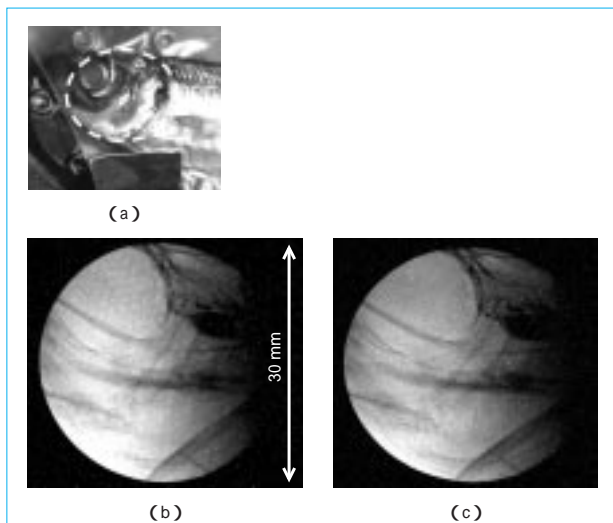


図5 魚頭部のX線撮像 被写体, X線像(検出器距離 10 cm), X線像(検出器距離 120 cm)  
X-ray imaging of fish head (a) Subject (b) X-ray image (Detector distance:10 cm) (c) X-ray image (Detector distance:120 cm).

るもので、その分布は理論計算とほぼ一致する。なお、実験条件の詳細は表1に記載されている。

## 5 吸収・屈折コントラスト法によるイメージング

生体のX線単純撮影試験として、魚頭部のイメージングを行った。図5はベリリウム窓出口に設置した被写体の通常写真であり、図5は被写体からCCDの距離が10 cm程度、図5は120 cmの場合のX線像である。X線のエネルギーは、像中央付近で電子線のエネルギーを変えることで23 keVに設定した。検出器は蛍光板型のX線CCD(Princeton Inst.社製, PI-SCX1300, 画素数1340×1300, 解像度<80  $\mu$ m)を用いた。検出器の分解能に近い部位まで確認できており、また被写体との距離を取っても、画像に違いが見られないことから、X線が高品質であることが分かる。

気泡試料の屈折コントラストイメージングを行った。屈折コントラスト法は、X線に対する物質の微小な屈折率差を利用して高コントラスト像を得ることができる新しい撮像法である。そのX線像を図6に示す。図6は被写体と検出器の距

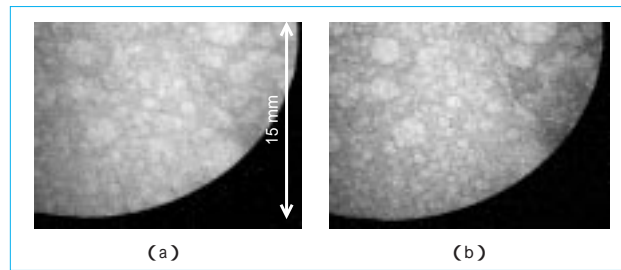


図6 気泡の吸収像(検出器距離 10 cm), 屈折コントラスト像(検出器距離 120 cm)  
(a) Absorption contrast image of bubbles in epoxy adhesive (Detector distance from subject:10 cm) (b) Refraction contrast image (Detector distance:120 cm).

離を10 cmとした場合の吸収像、図6は120 cmとした場合に得られた屈折コントラスト像である。X線のエネルギーは、像中央付近で17 keVに設定した。図6と図6を比較すると、明らかに図6の方が気泡の輪郭が強調されている。本開発のX線発生装置を用いて屈折コントラストイメージングを行うことで、高コントラスト像が取得できることが示された。これは吸収率の差が少ない生体軟部組織中のガン組織の発見が可能となることから、本方式の小型X線源の強度が増加すれば、高感度マンモグラフィ用光源などの医療診断用の次世代光源として利用できることを意味している。

## 6 むすび

レーザコンプトン散乱による小型高輝度X線発生装置を開発した。

本開発のX線発生装置は波長可変であり、発生されるX線は指向性・単色性に優れている。

本開発のX線発生装置を利用して、吸収・屈折コントラストによるイメージングを実施し、その有用性を示した。

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けてフェムト秒テクノロジー研究機構で実施したものである。

### (参考文献)

- R. W. Schoenlein, et al. Femtosecond X-ray Pulses at 0.4 Angstroms Generated by 90° Thomson Scattering: A Tool for Probing the Structural Dynamics of Materials. Science, vol.274, p.236, 1996.
- S. G. Anderson, et al. Short-pulse, High-brightness X-ray production with the PLEIADES Thomson-scattering source. Appl. Phys., vol.B, p.891-894, 2004.
- Jeremy Kuhar. Building a better beam. The X-ray revolutions. RT image, Vol.15, p.16, 2002. <http://www.mxsystems.com>.
- J. Giles. Laser bend beam for desktop X-ray source. Nature, vol.428, p.789, 2004.
- J. Yang, et al. Experimental studies of emittance growth and energy spread in a photocathode RF gun. Nucl. Instrum. & Methods Phys. Res., vol. A491, p.15, 2002.
- M. Yorozu, et al. Fluctuation of femtosecond X-ray pulses generated by a laser-Compton Scheme. Appl. Phys., vol. B74, p. 327-331, 2002.
- F. Sakai, et al. Status of laser-Compton x-ray generation project for FESTA. in Proceeding of SPIE, 5196, p.156-162, 2003.
- T. Yanagida, et al. Synchronization of two different repetition-rate mode-locked laser oscillators for Laser-Compton X-ray generation. in Proceeding of SPIE, 5194, p.149-156, 2003.

(注1) フェムト秒 fs =  $10^{-15}$ 秒 (注2) ピコ秒 ps =  $10^{-12}$ 秒

# 29T強磁場科学用ヘリウムフリー超電導マグネット

## Cryocooler-cooled Superconducting Magnet for 29 T High Field Science

石塚正之\* 伊藤智幸\* 櫻庭順二\* 淡路 智\*\* 西島 元\*\* 渡辺和雄\*\*  
 Masayuki ISHIZUKA Tomoyuki ITOU Jyunji SAKURABA Satoshi AWAJI Gen NISHIJIMA Kazuo WATANABE



図1 ハイブリッドマグネット用ヘリウムフリー超電導マグネット  
 Cryocooler-cooled superconducting magnet for hybrid magnet

29 Tハイブリッドマグネット用のヘリウムフリー超電導マグネットを開発した。ヘリウムフリーハイブリッドマグネットは、10 Tを発生させるヘリウムフリー超電導マグネットの内側に19 Tを発生させる水冷銅マグネットを挿入して、組み合わせにより合計で29 Tを発生させる設計としている。今回、コイルに加わる大きな電磁力を考慮して、内層側コイルには高強度Nb<sub>3</sub>Sn超電導線を採用し、直径360 mmの貫通した空間に単独で10 Tの磁場を発生させるヘリウムフリー超電導マグネットを開発した。これまでのところ27.5 Tの磁場を発生させることに成功し、ヘリウムフリーハイブリッドマグネットとしては世界最高の強磁場を得ることができた。

We have developed a cryocooler-cooled superconducting magnet for the 29 T hybrid magnet. A cryogen-free hybrid magnet has been designed to generate a magnetic field of 29 T accomplished through combining 10 T created by the cryocooler-cooled superconducting magnet with 19 T by a water-cooled resistive magnet, which is inserted into the room bore of the superconducting magnet. In this work, we developed a 10 T cryocooler-cooled superconducting magnet with 360 mm diameter room bore, because its inner coils are wound with high-strength Nb<sub>3</sub>Sn wires in consideration of large hoop stress. The cryogen-free hybrid magnet has succeeded in generating 27.5 T, which is world record.

### 1 まえがき

1992年、我々は世界に先駆けて、冷凍機冷却型のヘリウムフリー超電導マグネットを実用化した。それ以来、容易に強磁場が得られるようになり、強磁場の使用用途は広がっている。ヘリウムフリー超電導マグネットは、Gifford-MacMafon (GM) 型の小型冷凍機により、超電導コイルを伝導冷却するので、液体ヘリウムを全く必要とすることがな

い。煩わしい液体ヘリウム注入作業が不用となることに、大きなメリットがある。当社では、ヘリウムフリー超電導マグネットの実用化以来、15 Tの磁場を発生することができる強磁場マグネット、磁場中でのX線・中性子回折用のスプリットタイプのマグネット、産業応用としてMCZ単結晶引上げ装置用のマグネットなど、多岐にわたり開発を行ってきた。こうした中、強磁場中での物質特性評価の目的で、より強い磁場発生がユーザより求められており、その要

表1 線材諸元

Major specifications of superconducting wires

| Items  | Nb <sub>3</sub> Sn wire |           | NbTi wire |      |
|--|-------------------------|-----------|-----------|------|
|  | 1.85                    | 1.80      | 2.00      | 1.60 |
| Wire diameter (mm)                             | 1.85                    | 1.80      | 2.00      | 1.60 |
| Reinforcement material                         | CuNi-NbTi               | CuNi-NbTi | -         | -    |
| Filament diameter (mm)                         | 3.5                     | 3.5       | 30        | 24   |
| Twist pitch (mm)                               | 50                      | 50        | 50        | 40   |
| Diffusion barrier                              | Nb                      | Nb        | -         | -    |
| Fraction (%)                                   |                         |           |           |      |
| Cu (stabilizer)                                | 35                      | 35        | 67        | 67   |
| Reinforcement material                         | 28                      | 33        | -         | -    |
| Superconducting area<br>(including Nb barrier) | 37                      | 32        | 33        | 33   |
| Insulation material                            | E-glass                 | E-glass   | PVF       | PVF  |
| 0.2% proof stress (MPa)(at R.T.)               | 330                     | 330       | -         | -    |
| Critical current (A)(at 4.2 K)                 |                         |           |           |      |
| 7 T  | -                       | -         | -         | 1220 |
| 7.5 T  | -                       | -         | 1440      | 1010 |
| 8 T  | -                       | -         | 1170      | 810  |
| 12 T   | 630                     | 510       | -         | -    |
| 13 T   | 520                     | 420       | -         | -    |
| 14 T   | 420                     | 340       | -         | -    |

求に応えるべく、これまでに、23 T級の磁場を発生させるヘリウムフリーハイブリッドマグネットを開発してきた。一方では、液体ヘリウム浸漬冷却方式の超電導マグネットを用いたハイブリッドマグネットも使用されているが、超電導マグネットを初期冷却するには、膨大な液体ヘリウムを必要とし、また、運転途中での液体ヘリウムの補充が必要であることから、長期連続運転はほぼ不可能であった。ヘリウムフリー超電導マグネットをこのハイブリッドマグネットに適用することで、連続的に強磁場を発生させることが可能となり、用途が広がることとなる。

今回の29 Tハイブリッドマグネットの開発では、これまでのところ27.5 Tの磁場を発生させることに成功し、ヘリウムフリーハイブリッドマグネットとしては世界最高の強磁場を得ることができている。ヘリウムフリーハイブリッドマグネットは、10 Tを発生させるヘリウムフリー超電導マグネットと19 Tを発生させる水冷銅マグネットの組み合わせにより、29 Tを発生させる設計としている。今回、直径360 mmの貫通した空間に10 Tの磁場を発生させるヘリウムフリー超電導マグネットを開発した(図1)。

## 2 超電導マグネットの構造

### 2.1 超電導線材

今回開発したヘリウムフリー超電導マグネットのように、大口径かつ強磁場用コイルには、励磁の際コイルを構成している超電導線に大きな電磁応力が加わることとなり、その電磁応力によって超電導線の臨界電流が劣化する可能性が高くなる。今回の超電導コイルは、設計において150 MPa以上の電磁応力が線材に加わることとなり、従来の超電導線では一部対応できなくなる。したがって、特に歪に対して性能劣化が大きいNb<sub>3</sub>Sn超電導線については、高強度線材を用いることとした。使用した線材の諸元を、表1に示す。

表1に示すように、それぞれ2種類のNb<sub>3</sub>Sn線とNbTi線とで合計4種類の線材を用い、Nb<sub>3</sub>Sn線については、今回の

表2 コイル諸元

Major specifications of superconducting coils

| Items                                | Inner coil         |                    | Outer coil |           |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|
|                                      | Section A          | Section B          | Section C  | Section D |
| Superconducting wire                 | Nb <sub>3</sub> Sn | Nb <sub>3</sub> Sn | NbTi       | NbTi      |
| Wire diameter (mm)                   | 1.85               | 1.80               | 2.00       | 1.60      |
| Coil inner diameter (mm)             | 400                | 495                | 605        | 670       |
| Coil outer diameter (mm)             | 480                | 580                | 665        | 755       |
| Coil height (mm)                     | 400                | 450                | 500        | 550       |
| Number of turns                      | 4350               | 5490               | 3860       | 6570      |
| Wire length (km)                     | 6.0                | 9.2                | 7.7        | 14.9      |
| Operating current (A)                | 246                | 246                | 350        | 350       |
| Current density (A/mm <sup>2</sup> ) | 70                 | 73                 | 93         | 143       |
| Critical temperature (K)             | 8.5                | 9.5                | 6.5        | 7.5       |
| Maximum magnetic field (T)           | 11.3               | 8.5                | 5.5        | 2.6       |
| Magnetic field at center (T)         | 2.3                | 2.4                | 2.1        | 3.2       |
| Total magnetic field (T)             | 10                 |                    |            |           |
| Stored energy (MJ)                   | 6.5                |                    |            |           |
| Hoop stress (MPa)                    | 160                | 155                | 155        | 130       |

コイル用として東北大学金属材料研究所と古河電気工業株式会社とが共同開発したCuNi-NbTi補強の高強度Nb<sub>3</sub>Sn線を用いた。高強度Nb<sub>3</sub>Sn線の丸線断面構成は、外側より順に安定化銅、外側Nbバリア、ブロンズ/Nb<sub>3</sub>Sn、内側NbバリアおよびCuNi-NbTi強化材となっており、強化材を取り入れていることが大きな特徴である。なお、CuNi-NbTi強化材は、Cu-10wt.%Niマトリックスに極細NbTiフィラメントを埋め込んだ複合体となっている。また、ブロンズ/Nb<sub>3</sub>Sn層の両側には、熱処理時に汚染されるのを防止するべく、Nbバリアを設けている。

一方、通常のプロンズ法Nb<sub>3</sub>Sn線の構成は、外側より順に安定化銅、Nbバリア、ブロンズ/Nb<sub>3</sub>Sn、安定化銅となっており、強化材を有しておらず、高強度線と大きく異なっている。通常のプロンズ法Nb<sub>3</sub>Sn線の0.2%耐力が150 MPaであるのに対して、今回使用した高強度線は、表1に示されるように2種類のNb<sub>3</sub>Sn線材ともに330 MPaを示し、通常のプロンズ法Nb<sub>3</sub>Sn線の2倍以上となっており、機械的強度が向上していることが分かる。なお、NbTi線については、従来線でも500 MPa以上の0.2%耐力を示していることから、従来線を採用した。

### 2.2 超電導コイル

超電導コイルの諸元を、表2に示す。コイルは大別して、内側のNb<sub>3</sub>Snコイルと外側のNbTiコイルの二つに分割されており、さらにそれぞれ二つのセクションに分割され、合計四つのコイルによって構成されている。なお、四つのコイルはコイルボビンも別々となっている。表2に示すように、コイルにグレーディングを施しさらに各コイルの高さを調整することでコイル全体として小型化を図り、その結果コイル巻線重量を1 t未満にすることができた。超電導マグネットとして、中心で10 Tの磁場を発生させた時、蓄積エネルギーは6.5 MJとなり、これまでに我々が製作してきたマグネットでは、最大の蓄積エネルギーとなる。

表3 マグネットの熱設計値  
Estimated heat load of cryocooler-cooled superconducting magnet

| Heat load             | No operating current |            | Fully energized |            |
|-----------------------|----------------------|------------|-----------------|------------|
|                       | Inner coil           | Outer coil | Inner coil      | Outer coil |
| Operating current (A) | 0                    | 0          | 246             | 350        |
| 1st-stage             |                      |            |                 |            |
| Total (W)             | 70                   |            | 94              |            |
| 2nd-stage             |                      |            |                 |            |
| Total (W)             | 2.3                  |            | 5.8             |            |

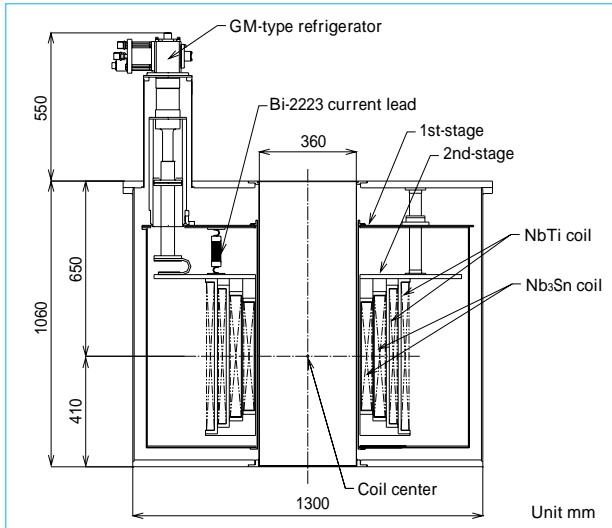


図2 ヘリウムフリー超電導マグネット概略  
Schematic view of cryocooler-cooled superconducting magnet

### 2.3 超電導マグネット

表3に、本マグネットの熱設計値を示す。コイル中心で10 T発生させた時、冷凍機の1st-stageにはトータルで94 Wの熱負荷が加わり、また、冷凍機の2nd-stageにはトータルで5.8 Wの熱負荷が加わる。冷凍機の冷凍能力は1st-stageが35 W@50 K、2nd-stageが1.5 W@4.2 Kをそれぞれ有することから、冷凍機の台数を4台とし、冷凍機1台当たりの熱負荷が1st-stageに23.5 W、2nd-stageに1.45 Wとなるように設計した。

作製したヘリウムフリー超電導マグネットの概略を、図2に示す。マグネットは外径1300 mm、高さ1610 mmであり、直径360 mmの貫通した室温ボアを有している。超電導コイルは4 Kで1.5 Wの冷凍能力を有するGM型冷凍機を4台用いて冷却され、外側のNbTiコイル、内側のNb<sub>3</sub>Snコイルをそれぞれ別系統で通電する2電源方式を採用している。また、超電導コイルへの熱侵入を低減するべく、図2に示すように、1st-stageと2nd-stageの間の各電流供給ラインに外径33 mm、内径30 mm、長さ120 mmのBi-2223バルク電流リードを用いている。本電流リードは、液体窒素(77 K)、自己磁場中において1500 A以上の臨界電流を有している。

## 3 試験結果

図3に、初期冷却時の超電導コイル温度と熱シールド温度を示す。冷却を開始してから約215時間後に、質量約1 tの超電導コイルは、約3 Kまで到達し定常となった。なお、熱シールドの到達温度は約40 Kであった。冷却質量から算出し

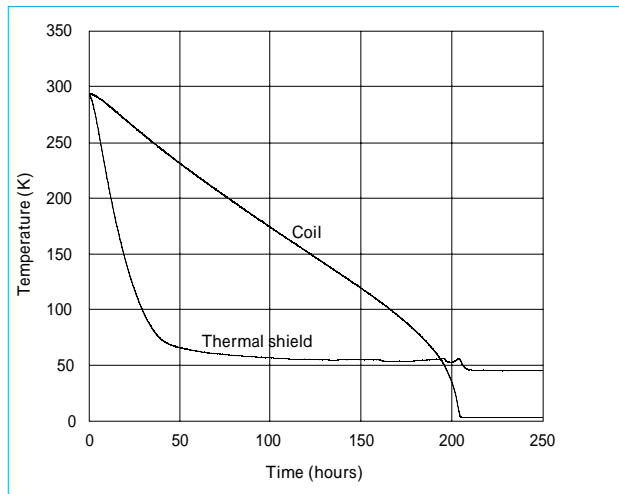


図3 初期冷却におけるコイル温度と熱シールド温度  
Coil and thermal shield temperature as function of time during initial cooldown

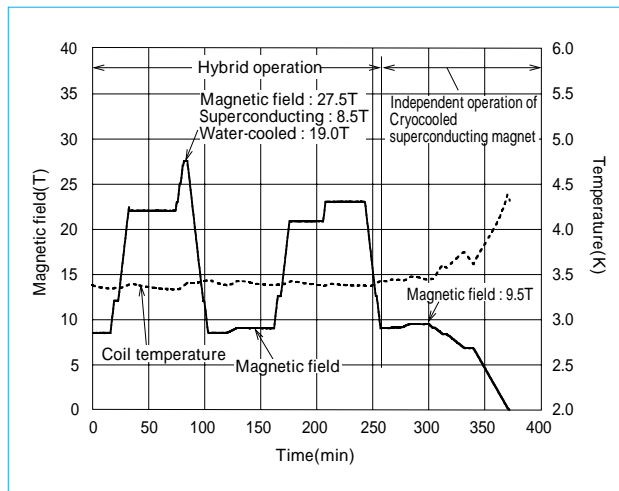


図4 ハイブリット励磁および超電導マグネット単独励磁結果  
Performance results of hybrid operation and independent operation of superconducting magnet

た初期冷却時間は約220時間であり、実測値とほぼ一致していることが確認される。

励磁試験は、最初にヘリウムフリー超電導マグネット単体にて実施した。外側のNbTiコイルを単独にて励磁試験し、3回のトレーニングを経て、4回目の励磁で設計磁場5.3 T(通電電流350 A)を達成した。一方、内側のNb<sub>3</sub>Snコイル単独での励磁試験は、単独では線材への最大経験磁場が設計値より小さく、臨界温度が12 Kを超えることから、設計磁場よりも25%増しの5.8 T(通電電流303 A)までの励磁試験を行った。その結果、トレーニングなしで5.8 Tを達成した。さらに、内側Nb<sub>3</sub>Snコイル、外側NbTiコイルを組み合わせる励磁試験を行った。これまでに、9.5 Tでの確認試験を行い、その結果、内側Nb<sub>3</sub>Snコイルで4.2 T(通電電流221 A)、外側NbTiコイルで5.3 T(通電電流348 A)を発生させ、合計で9.5 Tの発生を確認している。

ヘリウムフリー超電導マグネット単体での9.5 T発生を確認後、360 mmの貫通室温ボアに設置した水冷銅マグネット(32 mmの室温ボア)と組み合わせるハイブリット運転を実施した。ハイブリット運転での試験結果を、図4に示す。



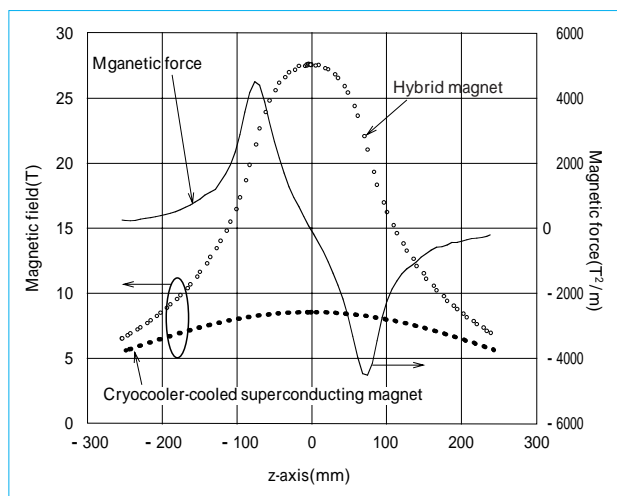


図5 ヘリウムフリーハイブリッドマグネットの性能テスト結果  
Performance results of cryogen-free hybrid magnet

図4は、ヘリウムフリー超電導マグネットで8.5 T発生させ、水冷銅マグネットで19 T発生させ、合計で27.5 Tを発生させた時の磁場と温度との関係を示している。なお、超電導コイルへの負荷を小さくし安全を確保するべく、組み合わせ試験は8.5 Tまでに留めている。中心での27.5 T磁場発生は、ヘリウムフリーハイブリッドマグネットとしては世界最高記録となる。27.5 Tの磁場を発生させた時、コイル温度は3.5 K以下を示すとともに安定していることが分かる。また、ハイブリッド運転後、水冷銅マグネットを消磁し、ヘリウムフリー超電導マグネット単体での励磁結果を、図4に示している。ヘリウムフリー超電導マグネット単体にて9.5 Tの磁場を発生しており、コイル温度は3.5 K以下で安定していることが分かる。なお、ヘリウムフリー超電導マグネット消磁の際にコイル温度が上昇しているが、これは交流損失に起因するものである。

図4において27.5 Tの磁場を発生させた時の、室温ポアでの鉛直方向の磁場分布測定結果(B)と、その結果より算出した磁束密度と磁場勾配の積 ( $B \cdot dB/dz$ ) を、図5に示す。本マグネットは、最大で4500 T<sup>2</sup>/mの磁気力場を得られることが図5より分かり、従来では磁気浮上させることができなかった磁化率の小さな材料の浮上が可能となる。強磁場を用いると、水、プラスチックおよびガラスなどの通常は磁場に応答しない非常に小さな磁化率を有する反磁性体などの物質を、重力に逆らって浮上させることが可能となる。物質を磁気浮上させると重力の影響を排除することができ、熱処理による結晶配向が有利となることも考えられる。また、物質を溶解させる場合、坩堝が不用となり、坩堝からの不純物混入を防ぐことができる。

今回開発したマグネットは、液体ヘリウム補充の中断が不用なことから、長時間の連続磁気浮上が可能であり、それによって新材料開発への貢献も期待できる。その他、強磁場を保持して行う、磁場中での材料評価などにも優位性があると考えられる。

今後は、ヘリウムフリー超電導マグネットで10 T、水冷銅マグネットで19 T発生させ、合計で29 Tを発生させる予定である。

## 4 むすび

29 T級ヘリウムフリーハイブリッドマグネット用の超電導マグネットを開発し、以下の性能結果が得られた。

室温からの初期冷却時間は約215 時間であり、熱シールドは約40 Kに冷却され、超電導コイルは約3 Kまで到達し、約1 tの冷却重量より算出した初期冷却時間約220 時間とほぼ一致した。

超電導マグネット単体では、9.5 Tの磁場までの発生を確認した。また、超電導マグネットで8.5 T、水冷銅マグネットで19 Tをそれぞれ発生させ、ヘリウムフリーハイブリッドマグネットとして、27.5 Tの発生に成功した。

今後は、ヘリウムフリーハイブリッドマグネットとして、設計磁場の29 Tを発生させる予定である。

本研究において、線材開発に当たった古河電気工業株式会社に感謝の意を表する。

### (参考文献)

- K. Watanabe, Y. Yamada, J. Sakuraba, F. Hata, C. H. Chong, T. Hasebe and M. Ishihara. (Nb,Ti)<sub>3</sub>Sn superconducting magnet operated at 11 K in vacuum using high-Tc (Bi, Pb)<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> current leads. Jpn. J. Appl. Phys., vol.32, pp.L488-L490, 1993.
- K. Watanabe, S. Awaji, M. Motokawa, Y. Mikami, J. Sakuraba and K. Watazawa. 15 T cryocooled Nb<sub>3</sub>Sn superconducting magnet with a 52 mm room temperature bore. Jpn. J. Appl. Phys., vol.37, pp.L1148, 1998.
- K. Watanabe, Y. Watanabe, S. Awaji, M. Fujiwara, N. Kobayashi and T. Hasebe. X-ray diffraction investigation in high fields at low temperature for Nd<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>MnO<sub>3</sub>. Adv. Cryo. Eng., vol.44, pp.747-752, 1998.
- K. Jikihara, H. Mitsubori, H. Ookubo, J. Sakuraba, S. Katano, N. Minakawa, N. Metoki and T. Osakabe. A cryocooler cooled 10 T split-pair superconducting magnet for neutron scattering experiment. IEEE Trans. Appl. Supercond. vol.9, No.2, pp.436-439, 1999.
- 渡澤恵一, 三堀仁志, 櫻庭順二, 山本和人. MCZ単結晶引上げ装置用ヘリウムフリー超電導マグネット. 住友重機械技報, vol.48, no.143, pp.22~25, Aug., 2000.
- K. Watanabe, S. Awaji, K. Takahashi, G. Nishijima, M. Motokawa, K. Jikihara, M. Ishizuka and J. Sakuraba. First performance test of the cryogen-free hybrid magnet. IEEE Trans. Appl. Supercond. vol.13, No.2, pp.1632-1635, 2003.
- K. Miyoshi, S. Endoh, S. Meguro, G. Nishijima, S. Awaji and K. Watanabe. Development of high strength Nb<sub>3</sub>Sn conductor. IEEE Trans. Appl. Supercond. vol.14, No.2, pp.1004-1007, June, 2004.
- S. Awaji, K. Watanabe, G. Nishijima, K. Katagiri, K. Miyoshi and S. Meguro. Enhancement of critical current densities by the prebending strain at room temperature for Nb<sub>3</sub>Sn wires. Jpn. J. Appl. Phys. vol. 42, pp.L1142-L1144, 2003.
- 石塚正之. Bi-2223超電導材料を用いたバルク電流リードの開発-冷凍機による伝導冷却超電導マグネットへの適用-. 低温工学, 39巻, 3号, pp. 104~107, 2004.

# 耐圧防爆モータ用インバータ HF-320 シリーズ

Inverter HF-320 Series for Flame Proof Motor

伊藤 勲\* 合原 一孝\*  
Isao ITO Kazutaka AIHARA



耐圧防爆型モータ



HF-320 インバータ

図1 耐圧防爆型モータとHF-320 インバータ  
Flame proof motor and HF-320 inverter

## 1 はじめに

汎用インバータに対する小型・高性能化，操作性・メンテナンス性向上および発生ノイズ低減などの改善要求は依然として多く，こうした市場ニーズに対応するべく，当社は小形高性能・高機能インバータHF-320 を2004年8月に発売した。また，化学プラントや塗装ラインなど爆発性ガスを扱う雰囲気の下で使用されるモータには，防爆検定認定品が要求される。特に，インバータで可変速を行う場合には，インバータとモータはセットで耐爆（耐圧防爆）検定合格した製品が必要である。

今回，これらのニーズに対応するべく，耐爆型モータと最新インバータであるHF-320 を組み合わせて検定合格したシリーズを，2005年6月に発売した（図1）。

本報では，耐爆型モータの防爆性能，HF-320 との組み合わせでの制御特性および機能面での特長を中心に紹介する。

## 2 製品のラインナップ

耐爆型モータ用HF-320 は，次の電源・容量範囲をカバーしている。今回，初めて単相入力用もラインナップした。

電源仕様・適用モータ容量範囲

単相200V級入力 0.2～2.2 kW

3相200V級入力 0.2～3.7 kW

3相400V級入力 0.2～3.7 kW

モータ部共通仕様

脚付き/JEMフランジ/サイクロ 減速機直結など

屋外型/屋内型

## 3 防爆構造の説明

当社耐爆型モータは防爆構造d2G4仕様であることから，

表1 爆発性ガスの分類例  
Classification example of firedamp

| 爆発等級 | 発火度 | G1   | G2   | G3           | G4                  | G5    |
|------|-----|--|--|--------------|---------------------|-------|
| 1    |     | アセトン<br>アンモニア<br>一酸化炭素<br>ニタン<br>酢酸<br>酢酸ニチル<br>トルエン<br>プロパン<br>ベンゼン<br>メタノール<br>メタン | エタノール<br>酢酸イソアミル<br>1-ブタノール<br>ブタン<br>無水酢酸 | ガソリン<br>ヘキサン | アセトアルデヒド<br>エチルエーテル |       |
| 2    |     | 石炭ガス   | エチレン<br>エチレンオキシド                           |              |                     |       |
| 3    |     | 水性ガス<br>水素   | アセチレン                                      |              |                     | 二酸化炭素 |

ほとんどの危険対象ガス雰囲気に対応している。表1に，爆発性ガスの分類例を示す。

第1記号のdが防爆構造の記号で耐圧防爆形を意味しており，1種および2種危険場所で使用可能である。

第2記号の2が爆発等級を意味しており，スキ（容器の嵌め合い面，接合面および軸貫通部の隙間）の奥行25 mmにおいて点火波及を生じるスキの値が0.4 mm以上0.6 mm以下の構造となる。

第3，4記号のG4が発火度を意味し，発火点の範囲が135 以上200 以下に適用される。

## 4 耐爆型モータと非防爆型モータの違い

耐爆型モータは内部で万一爆発が起きても容器が壊れることがないように，非防爆型モータより容器の肉厚を上げて強い構造としている。

爆発時に火花が外部に引火しないように，スキを爆発等級による規定値により製作している。

爆発性ガスの触れる恐れがある容器の表面は発火度に

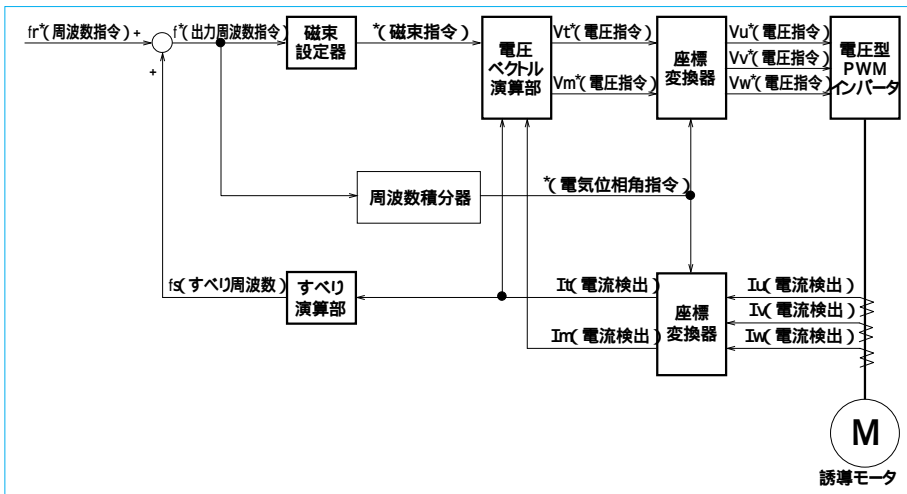


図2 センサレスベクトル制御の制御ブロック図  
Block diagram of sensorless vector control

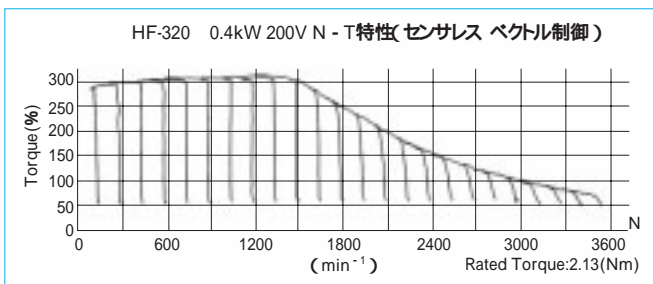


図3 速度 - トルク特性  
Speed-torque characteristics

応じ温度上昇限度が決められており、発火度G4の場合、70度以下の限度値で設計している。

モータの温度上昇は電源の特性により変化することから、電源を特定する必要がある。インバータはメーカーおよび機種により電源の特性が異なるとされており、産業安全技術協会の防爆検定はインバータとモータの組み合わせが認定条件となる。そのことから、耐爆型モータは使用するインバータを指定する必要があり、適用インバータを明記した銘板を取付けしている。

耐爆型モータのメンテナンスは責任者以外が行った場合には防爆性がなくなる可能性があることから、容器を容易に開けられないように、締付けボルトの箇所は全て錠締構造としている。

## 5 特長

### 5.1 センサレスベクトル制御によるモータ特性

耐爆型モータ用HF-320としては、モータとの組み合わせ性能を最大限に引き出すべく、センサレスベクトル制御にて防爆検定に合格している。V/f制御で運転すると、検定時条件と異なることから合格対象外とみなされる場合がある。

センサレスベクトル制御ではV/f制御の欠点である低速域のトルク低下とすべりによる速度変動が改善されている。制御ブロック図の例を、図2に示す。モータ1次巻線抵抗での電圧降下の影響は電圧ベクトル演算部で補償され、周波数や負荷率によらずモータ磁束が一定となる様に制御される。また、すべり演算部でモータのすべりを演算して補償することにより、速度変動を抑えている。モータ回路定数の設定については、当社出荷時に耐爆型モータに合わせた調整となっ

ており、客先での調整は不要とした。図3に、HF-320 と当社耐爆型モータを組み合わせた場合の速度 - トルク特性を示す。低速域でも定格の200%以上の出力トルクを確保し、負荷による速度変動も±1%以下を実現している。

### 5.2 ノイズフィルタ標準内蔵の効果

従来機種ではインバータの発生ノイズが問題となる場合、客先にてノイズフィルタを外付けしていた。HF-320ではノイズフィルタを標準内蔵したことによりインバータ単体で発生ノイズを軽減でき、設置の省スペース化や配線工数の削減も可能となる。また、単相200V・3相400V機種の内蔵フィルタは、規制の厳しい欧州のEMC指令クラスAに対応した高減衰型フィルタを搭載し、発生ノイズの低減を図った。

### 5.3 メンテナンス性の向上

近年は環境問題などへの配慮から、小型インバータにも長寿命化やメンテナンス性の向上が要求されてきており、HF-320ではこれら要求に対応した設計としている。

冷却ファンをワンタッチ交換できる構造とした。

コンデンサ設計寿命を5年から10年に延ばした。

端子台を着脱式としインバータ交換を容易にした。

## 6 おわりに

インバータへの市場ニーズに対応して、最新インバータと組み合わせた耐爆型モータシリーズを発売した。

モータの防爆構造はd2G4であり、ほとんどの危険対象ガス雰囲気で使用が可能である。

HF-320は当社耐爆型モータに最適な調整がなされており、客先での調整なしでセンサレスベクトル制御による高性能運転が可能である。

ノイズフィルタ内蔵、長寿命化およびメンテナンス性向上などにより、環境にやさしく、ユーザフレンドリーなインバータとなっている。

今後も多様化する市場ニーズに対応して、製品およびサービスの改良に努める所存である。

### (参考文献)

- 日本電機工業会. 伸びゆくインバータ2005年版. p.1~6.
- 産業安全技術協会. 防爆構造電気機械器具型式検定申請の手引き.
- 産業安全研究所. 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆1979) p.10~12.
- 蘭部忠, 千ヶ岩敏彦. センサレスベクトルインバータ. 省力と自動化. 12月号, p.72~75, 1993.

## 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アルタックス, 精密制御用サイクロ減速機,プレストギヤモータ,コンパワー遊星歯車減速機, [ 平行軸 ]バラマックス減速機,ヘリカルパディボックス,[ 直交軸 ]バラマックス減速機,ハイボニック減速機,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,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,バラマックス,パディボックス,ハイボニック減速機,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,インジェクションフロー成形システム,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**

**レーザドリルシステム**
**レーザアニーリングシステム**
**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**
**YAG高調波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**
**放射光リング**・AURORA,放射光ビームライン
**成膜装置** : ( 液晶フラットパネル用 )プラズマ薄膜形成システム
**精密XYステージ**Nanoplaneシリーズ
**リニアモータ** Nanoplaneシリーズ
**マイクロマシン**
**エキシマレーザアニーリングシステム**
**ウエハ研削装置**
**ウエハ洗浄装置**

AURORAおよびNanoplaneは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

**環境施設**

**環境**・**エネルギー**関連**プラント** : 都市ごみ焼却施設,リサイクル施設,流動層ガス化溶融炉,産業用廃棄物処理施設
**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,がん治療用陽子サイクロトロン,治療照射装置
**精密XYステージ**Nanoplaneシリーズ
**リニアモータ**Nanoplaneシリーズ
**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,クライオポンプ用冷凍機,MRI用冷凍機
**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およびNanoplaneは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### 事業所

|                |           |                                  |                           |
|----------------|-----------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>本 社</b>     | 〒141-8686 | 東京都品川区北品川5丁目9番11号( 住友重機械ビル)      | <b>愛媛製造所</b>              |
| <b>関 西 支 社</b> | 〒541-0041 | 大阪市中央区北浜4丁目7番26号( 住友ビル2号館)       | <b>新居浜工場</b> 〒792-8588    |
| <b>北海道支社</b>   | 〒060-0042 | 札幌市中央区大通り西7丁目1番地( 千代田生命ビル)       | <b>西条工場</b> 〒799-1393     |
| <b>東 北 支 社</b> | 〒980-0811 | 仙台市青葉区一番町3丁目3番16号(オー・エックス芭蕉の辻ビル) | <b>技術開発センター</b> 〒237-8555 |
| <b>中 部 支 社</b> | 〒461-0005 | 名古屋市東区東桜1丁目10番24号( 栄大野ビル)        | <b>技術開発センター</b> 〒792-8588 |
| <b>中 国 支 社</b> | 〒730-0015 | 広島市中区橋本町10番10号( 広島インテスビル)        | ( 新居浜)                    |
| <b>四 国 支 社</b> | 〒760-0023 | 高松市寿町2丁目3番11号( 高松丸田ビル)           | <b>技術開発センター</b> 〒188-8585 |
| <b>九 州 支 社</b> | 〒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)                    |
| <b>田無製造所</b>   | 〒188-8585 | 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号                |                           |
| <b>千葉製造所</b>   | 〒263-0001 | 千葉県稲毛区長沼原町731番地1                 |                           |
| <b>横須賀製造所</b>  | 〒237-8555 | 神奈川県横須賀市夏島町19番地                  |                           |
| <b>名古屋製造所</b>  | 〒474-8501 | 愛知県大府市朝日町6丁目1番地                  |                           |
| <b>岡山製造所</b>   | 〒713-8588 | 岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地               |                           |

**物流システム**

**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**

**金属加工機械**

**鍛圧機械** : フォージングプレス,油圧プレス,フォージングロール,超高压発生装置
**工作機械**
**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**

**船舶海洋**

**船舶** : 油槽船,撒積運搬船,鉱石運搬船,鉱油兼用船,コンテナ船,自動車運搬船,LPG船,LNG船,カーフェリー,ラッシュ船,作業船,大型洋式帆船,巡視船,他
**海洋構造物** : 海洋石油生産関連構造物,浮体式防災基地,浮体式海釣施設,その他海洋構造物
**海洋開発機器** : 各種ブイ,船用環境機器

**インフラ整備関連**

**橋梁** : 一般橋,長大橋
**水門** : 各種ゲート
**海洋**・**港湾**構造物 : 沈埋函,ケーソン
**シールド掘削機**
**生活**関連設備 : 機械式駐車場,動く歩道
**空港**関連設備

**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 )パイボラック( 横型2軸反応装置)

マックスブレンドおよびパイボラックは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

**製紙機械**

**抄紙機**,**ワインダ**,各種製紙関連設備

**建設機械**,**産業車輛**

**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

**その他**

**航空**用機器,精密鑄鍛造品,防衛装備品( 各種機関銃,機関砲およびシステム)

#### 技 報 編 集 委 員

|            |                |             |                  |
|------------|----------------|-------------|------------------|
| <b>委 員</b> | <b>渡 辺 哲 郎</b> | <b>委 員</b>  | <b>李 瑞</b>       |
|            | <b>小 林 克 行</b> |             | <b>松 崎 敏 彦</b>   |
|            | <b>増 田 雅 之</b> |             | <b>小 島 宏 志</b>   |
|            | <b>玉 井 文 次</b> |             | <b>太 田 朝 也</b>   |
|            | <b>平 田 徹</b>   |             | <b>井 辻 孔 康</b>   |
|            | <b>高 倉 一 香</b> |             | <b>佐 渡 賢 治</b>   |
|            | <b>西 原 秀 司</b> |             | <b>土 居 砂 登 志</b> |
|            | <b>野 原 彰 人</b> |             | <b>久 保 隆</b>     |
|            | <b>川 井 浩 生</b> | <b>事務局</b>  | <b>技術本部</b>      |
|            | <b>村 野 賢 一</b> | <b>アシスト</b> | <b>SNBC</b>      |
|            | <b>荒 居 祐 基</b> |             | <b>千代田プランニング</b> |

#### 住 友 重 機 械 技 報

第159号 非売品

2005年12月10日印刷 12月20日発行

#### 発 行

**住友重機械工業株式会社**  
〒141-8686 東京都品川区北品川5丁目9番11号  
( 住友重機械ビル)

**お問い合わせ電話** 横須賀(046)869-2302

#### 発 行 人

**吉 井 明 彦**  

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。  
**無断転載・複製を禁ず**