

## 特集：建設機械

ページ

- 1 (巻頭文) コベルコ建機(株)のグローバルエンジニアリング戦略 岩満裕明
- 3 (巻頭文) コベルコクレーン(株)のグローバル化に向けた技術戦略 後藤晋司
- 5 (技術資料) 「K30Dynamite」現場力の向上を継続・発展させるシステム 河野太郎・西田吉男
- 9 (技術資料) メインブーム兼用型解体機とその応用 庭田孝一郎
- 14 (論文) 8t級ハイブリッド油圧ショベルSK80Hの開発 鹿兒島昌之
- 19 (解説) 低炭素型建設機械の開発 小林真人
- 23 (論文) プレスシミュレーションを活用した油圧ショベルのガード部品開発効率化 崎谷慎太郎
- 27 (論文) iNDr冷却システム搭載極低騒音型油圧ショベル  
中島 一・上田員弘・土橋知之・木村康正・山口善三
- 32 (解説) 油圧ショベルの低燃費を支えるシミュレーション技術 今西悦二郎・南條孝夫・筒井 昭
- 37 (解説) 油圧ショベルの動的挙動シミュレーション技術 川端将司・森 辰宗
- 41 (技術資料) クローラクレーンの軽量化による輸送性向上  
前藤鉄兵・市川靖生・小林 豊・宮 英司・山口拓則・濱口裕充
- 45 (技術資料) クローラクレーンの省エネ向上技術 山縣克己・道田隆治
- 49 (技術資料) 大型クローラクレーンたわみ評価技術の高度化  
市川靖生・前藤鉄平・山口拓則・小林 豊・村田朝彦
- 53 (解説) 中間4次排ガス規制対応クローラクレーン「Gシリーズ」に標準装備の遠隔稼働管理システム  
水谷元彦
- 58 (論文) シティークレーンの燃費改善へのアプローチ 堀 直人・寺坂稔二・小林隆博・菅野直紀
- 63 (技術資料) シティークレーンの電子油圧制御式2軸操舵技術 下村耕一・森田孝司
- 68 (論文) クレーンの電子制御システムにおける安全性と信頼性の基本概念 山下俊郎・下村耕一
- 73 (技術資料) シティークレーンのプレス曲げブームにおける高剛性軽量化技術 中山浩樹
- 78 (解説) クレーン用キャブの強度・剛性・乗心地の評価技術 朽木聖綱・細井英彰・川端将司・森 辰宗
- 82 (解説) クローラクレーンの騒音低減とヒートバランスのシミュレーション技術  
木下伸一・増田京子・木村康正・朽木聖綱・細井英彰・満田正彦
- 87 (技術資料) クローラクレーンのブーム生産ラインにおける自動溶接工程の改善  
山下俊治・小林俊文・藤原昭喜・西川禎英
- 91 神戸製鋼技報掲載 建設機械関連文献一覧表 (Vol.51, No.1~Vol.61, No.2)

## 新製品・新技術

- 92 高機能抗菌めっき (KENIFINE<sup>®</sup>) とその新しい利用技術 中山武典・田中敦子
- 93 小型バイナリー発電システム「マイクロバイナリー」 成川 裕
- 94 中厚板溶接最適ロボット「ARCMAN<sup>TM</sup>-GS」 湊 達治・近藤 亮
- 95 高成形プレコートアルミニウム材KS705 服部伸郎・小西晴之
- 96 電磁成形による軽量な貫通型アルミバンパシステム 津吉恒武・橋本成一

《FEATURE》 Excavators & Cranes

- 1 Global Engineering Strategies in Construction Machineries Products and Manufacturing  
Hiroaki IWAMITSU
- 3 Technological Strategy toward Globalization for KOBELCO CRANES CO., LTD.  
Shinji GOTO
- 5 "K30Dynamite" System for Continuing to Improve and Develop Manufacturing Site Power  
Taro KONO · Yoshio NISHIDA
- 9 Multi-purpose Demolition Machine with Main Boom and Its Usage  
Koichiro NIWATA
- 14 Development of 8 Tonne Class Hybrid Hydraulic Excavator SK80H  
Masayuki KAGOSHIMA
- 19 Development Outline for Low Carbon-emitting Excavators  
Masato KOBAYASHI
- 23 Efficient Production of Guard Components in Hydraulic Excavators Using Press-forming Simulation  
Shintaro SAKITANI
- 27 Ultra-low-noise Hydraulic Excavators Using Newly-developed iNDr Cooling System  
Hajime NAKASHIMA · Kazuhiro UEDA · Tomoyuki TSUCHIHASHI · Yasumasa KIMURA · Zenzo YAMAGUCHI
- 32 Simulation Techniques for Fuel Efficiency Improvement in Hydraulic Excavators  
Dr. Etsujiro IMANISHI · Takao NANJO · Akira TSUTSUI
- 37 Technology for Simulating Dynamic Motion in Hydraulic Excavators  
Masashi KAWABATA · Yoshimune MORI
- 41 Weight and Width Reductions of Latticed Boom Crawler Cranes  
Teppe MAEDO · Yasuo ICHIKAWA · Yutaka KOBAYASHI · Eiji MIYA · Takunori YAMAGUCHI · Hiromitsu HAMAGUCHI
- 45 Energy Saving Systems for Crawler Cranes  
Katsuki YAMAGATA · Takaharu MICHIDA
- 49 Bending Analysis and Simulation of Crane Booms for Crane Weight Reduction  
Yasuo ICHIKAWA · Tepei MAEDO · Takunori YAMAGUCHI · Yutaka KOBAYASHI · Tomohiko MURATA
- 53 Features of Remote Operation Management System for "G series" Crawler Cranes, KCROSS, Adapted to Exhaust Emission Standard, Interim Tier 4/ Stage III  
Dr. Motohiko MIZUTANI
- 58 Approach for Improving Fuel Consumption of City Crane  
Naoto HORI · Joji TERASAKA · Takahiro KOBAYASHI · Naoki SUGANO
- 63 City Crane with Electro-hydraulically Controlled Two Axle Steering Technology  
Koichi SHIMOMURA · Takashi MORITA
- 68 Basic Concepts of Safety and Reliability for Electronic Control Systems Embedded in Mobile Cranes  
Toshiro YAMASHITA · Koichi SHIMOMURA
- 73 New Technology for Highly-rigid and Lightweight Telescoping Booms for Wheel Cranes, Fabricated by Bended Metal Sheets  
Hiroki NAKAYAMA
- 78 Technology for Evaluating Strength, Stiffness, and Riding Comfort of Mobile Cranes  
Kiyotsuna KUCHIKI · Hideaki HOSOI · Masashi KAWABATA · Yoshimune MORI
- 82 Technology for Improving Noise and Heat Balance of Crawler Cranes  
Shinichi KINOSHITA · Kyoko MASUDA · Yasumasa KIMURA · Kiyotsuna KUCHIKI · Hideaki HOSOI · Dr. Masahiko MITSUDA
- 87 Automated Production of Crawler Cranes Lattice Booms  
Toshiharu YAMASHITA · Toshifumi KOBAYASHI · Akiyoshi FUJIWARA · Yoshihide NISHIKAWA
- 91 Papers on Advanced Technologies for Excavators & Cranes in R&D Kobe Steel Engineering Reports (Vol.51, No.1~Vol.61, No.2)

(巻頭文)

# コベルコ建機(株)のグローバルエンジニアリング戦略 Global Engineering Strategies in Construction Machineries Products and Manufacturing

コベルコ建機株式会社 執行役員 グローバルエンジニアリングセンター 副センター長、開発担当

岩満裕明

Hiroaki IWAMITSU



まえがき＝コベルコ建機(株) (以下、当社という) の主力製品である油圧ショベルは、最も普及台数の多い建設機械として世界中のお客様に愛用されている。

2000年代初頭までは日米欧に代表される先進国が市場の大半を占めていたが、現在は中国を筆頭とする新興国市場が大半を占める状況になっている。

そのような状況下、当社も中国工場およびタイ工場の生産能力を増強するとともに、インド工場の立上げを行い、伸張するアジア地区での競争力強化を図ってきた。

また、2012年4月にはコベルコ建機グループ全体の開発・生産を最適化する司令塔機能としてグローバル・エンジニアリング・センター (GEC) を設立するとともに、五日市新工場に生産拠点を移し、主力の中・大型油圧ショベルを生産する工場として世界最高水準の生産性と競争力の実現を目指している。

本稿では、市場のグローバル化や大きな環境変化のなか、当社がここ数年進めてきた技術開発、ものづくり力強化活動の一端を紹介する。

## 1. 新製品・新技術の開発

### 1.1 製品の省エネへの取組

CO<sub>2</sub>削減をはじめとする地球環境保全意識が高まるなか、建設機械分野においても低燃費化に向けた取組が進められている。(株)神戸製鋼所 (以下、神戸製鋼という) と当社は、他社に先駆け1999年にハイブリッドショベルの開発に着手し、2006年4月にパリで開催された国際建機展で世界初のハイブリッド油圧ショベルを世界の皆様にお披露目することができた。この技術をベースに商品化したハイブリッド油圧ショベルSK80Hは、その圧倒的な省エネ性能が評価され、2010年度地球温暖化防止活動で環境大臣省を受賞した。また、国土交通省が2010年度より認定を開始した「低炭素型建設機械」の第1号機として認定を受けた。「低炭素型建設機械」の認定開始の背景には、油圧ショベル、ホイールローダおよびブルドーザに関する燃費測定標準が策定されたこと、ハイブリッド油圧ショベルや電動型油圧ショベルの燃費測定標準がそれに追加されたこと、さらには国土交通省により機種別・クラス別の燃費基準値が提示されたことがあげられる。

また、上記ハイブリッド油圧ショベルとほぼ並行して開発を進めた低燃費型油圧ショベル「アセラ・ジオスペックシリーズ」の販売を2006年より開始した。アセラ・

ジオスペックシリーズは、国内外の排ガス3次規制をクリアするとともに、従来機に比べ20%におよぶ大幅な燃費低減を達成した。

この燃費低減の実現には、ハイブリッド油圧ショベルの開発で培われた要素技術が大いに貢献した。なかでも、油圧ショベル全体での動的挙動解析技術、燃費予測シミュレーション技術、動力系&油圧系HILS (Hardware In the Loop Simulation) などの実用化により、各種性能評価が試作機の完成を待たずにできるようになった点は、開発の効率と目標性能の達成度を格段に向上させた。

### 1.2 低騒音化・低振動化への取組

油圧ショベルの低騒音化について、当社は神戸製鋼とともに永年取組んできた。そのなかの一つの成果が、iNDR (Integrated Noise and Dust Reduction cooling system) である。

本技術は、エンジンルームへのダスト侵入低減と車外騒音低減の両立を実現できる画期的なエンジン冷却システムで、車外騒音を大幅に低減するとともに悪環境下での機械の稼働をより確実なものとしている。

また、油圧ショベルの開発に欠かせない、低振動化技術にも継続的な取組を行い、乗心地や操作性の向上に努めてきた。

### 1.3 環境リサイクル機械の開発

当社は、油圧ショベルの能力を、自動車解体分野、ビル解体分野、産業廃棄物分野へと活用分野を広げ、環境分野での市場創造にも積極的に取組んできたほか、良い製品をより良く活用していただくために、カスタマーサポート体制も充実させてきた。

本特集号で紹介するメインブーム兼用解体機はそれらの製品の一例で、解体機のフロントアタッチメントだけを取替えることで、解体仕様機の特徴を変更できるとともに交換時の作業の安全性と効率を高めた分解組立に配慮した新型解体機である。本機械の導入により、制約の多い市街地での解体工事において、工期短縮や持込む機械台数の絞込みなど大きな効果が発揮されている。

## 2. 生産設計技術・製造技術の開発

### 2.1 生産設計

油圧ショベルでは大きな荷重に耐えるため、メインの構造物は厚鋼板で構成されている。一方、運転席やエンジンボンネット、ガード部品などは自動車と同様に比較

的板厚の薄い鋼板，いわゆる板金もので構成されている。

板金ものの成形，生産設計技術は信頼性向上やコストに大きな影響を与えるとともに，油圧ショベルの斬新的なデザインを支えてきた。また，運転席は上部からの落下物や機械転倒時の荷重に耐える必要があり，オペレータの安全を確保する上で不可欠の構造物となっている。

当社では，運的席の内製化を行うとともに，薄板の成形性シミュレーション技術開発にも力を入れている。

## 2.2 生産技術

生産性向上は，ものづくり現場での永遠の課題である。当社では，海外生産拠点の立上げ，生産能力の増強と並行して，マザー工場である日本の生産拠点での生産性向上活動を継続的に展開している。

特集記事のなかで紹介する活動はその一例で，リーマンショック後の大減産時を逆に好機ととらえ，大きな投資を行わず現場主導の活動により30%の生産性向上を实

現したもので，五日市新工場での更なる生産性向上活動の展開に弾みをつけることができた。詳細については，本文記事を参照していただきたい。

**むすび**＝当社は，「低騒音，低燃費のコベルコ」と評価されるグローバル市場で戦える差別化された製品を生み出してきた。開発力とものづくり力といった技術の優位性を当社のグローバルビジネスの根幹に据えるため，グループ全体の生産および開発の最適化を狙ったグローバル・エンジニアリング・センターと最高水準の生産性と競争力を備えた新工場を広島県・五日市地区に設立した。

製造業の原点に立ち帰り，より良い商品を適正な価格で，ニーズに合わせてタイムリーにお届けすべく，コベルコ建機グループ一丸となって頑張っていく所存である。

これからも挑戦を続けるコベルコにご期待ください。



(巻頭文)

# コベルコクレーン(株)のグローバル化に向けた技術戦略 Technological Strategy toward Globalization for KOBELCO CRANES CO., LTD.

コベルコクレーン株式会社  
技監 後藤晋司  
Shinji GOTO



まえがき＝コベルコクレーン(株)は移動式クレーンを製造・販売する会社であり、主なメニューはラチスブーム式クローラクレーンと伸縮ブーム式ホイールクレーンである。

これらのクレーンは原動機を内蔵し、地面や建造物に固定することなく自重で物を吊上げ、移動できる自走式の建設機械である。容易に現場へ移動・搬送して作業できるため、一般のビル建築だけでなくプラントの建設やメンテナンス作業、インフラ整備の建設・土木作業に経済的なクレーンとして全世界で広く使われている。

クレーン作業は危険を伴うため、安全規格や各地の環境規制(排ガス、騒音など)、通行・輸送の規制を受ける。とくに、稼働地が一定の場所にとどまらず、さまざまな国・地域の作業現場を移動する、いわゆる世界還流型の機械であることから、市場ニーズだけでなく、規格・規制についてもグローバルな視点に立った対応が必要となっている。

本稿では、クレーンの市場動向や技術動向と、競合状況の中でのコベルコクレーン(株)としての事業戦略および技術戦略をクローラクレーン中心に紹介する。

## 1. 市場動向

需要は景気変動に大きく左右されるが、おおむねクローラクレーンは日本で年間200台、全世界で年間3,000台の規模である。2000年以降、先進国の需要は落込み、それに代わり中国やインド、東南アジアなどのいわゆる新興国の需要は増加し、今や新興国の比率は80%弱まで上がってきている。

ただし、新興国市場においても欧米の大手ユーザがクレーンを持込むことも多く、先進国の規制に対応したクレーンのニーズもあり、市場は先進国向けグローバル高機能機ニーズと新興国向け低価格機ニーズの2極化が進んでいる。

### 1.1 技術動向

クローラクレーンは、クローラシューを履き軟弱地盤でも走行でき、ラチスブームの先端をワイヤロープ支持して軽量・長尺ブームを特徴としたクレーンである。吊上能力50～250tクラスの中小型クローラクレーンと、300～3,000tクラスまでの大型クローラクレーンに大別される。

中小型クラスはコモディティ化が進み、新興国市場では低価格化に向けたコストダウンと品質作込み、グローバル市場では排ガス規制に加えてランニングコスト削減

による付加価値アップが進んでいる。さらに、用途拡大として重掘削作業ができる基礎土木工事専用仕様のニーズも高まっている。

一方、大型クラスはプラントや橋梁、インフラ整備などの工事が大型化し、それに合わせて欧州メーカ主導でクレーンの大型化の開発が進んでいる。そして、ブーム長さや吊上能力のクレーン性能に加え、分解組立・輸送性と作業性で商品力を強化する取組が進んでいる。また、風力発電設備の建設用途など特殊仕様で作業性が向上し、付加価値アップとともに差別化が図られており、大型機種の売上高規模は中小型クラスを上回る状況となっている。

### 1.2 市場での競合状況

1950年代に日本ではじめて移動式クレーンを国産化したコベルコクレーン(株)は、米国建設機械メーカP&H社の技術導入で技術レベルを上げて自立し、独自技術を加えて技術強化を図り、日本市場ではトップクラスの移動式クレーンメーカとなった。そして、日本市場が減退した2000年以降には、クローラクレーンを中心にグローバル市場を見据えた機種開発を推進して市場浸透を図り、現状のシェアは日本で40%以上、世界では閉鎖的な中国市場を除けば約35%を占めるトップメーカとなっている。ただし、大型機のラインナップは遅れており、大型クラスのシェアは20%弱となっている。

## 2. 事業戦略

グローバル市場で存在感を示すメーカを目指すコベルコクレーン(株)としては、2極化しているグローバル市場に向け、新興国市場ニーズに合せた低価格機と全世界で稼働できるグローバル機の2種類を揃(そろ)えることが課題となっている。

新興国に向けては、実績ある従来機をベースに中国・インドで現地生産および現地調達し、高い品質と信頼性を維持した低価格機で競争力の強化を図る。一方、グローバル機としては、欧米メーカに対抗しうるメニュー揃えと高性能・高機能で競争力の強化を図る。

開発機種の要件は以下ようになる。

### 2.1 グローバル機

【規格・規制に対応した高機能・高性能機の投入】

- ・フルラインナップ化(基礎仕様と大型機補強)
- ・欧米の先進国メーカに対抗しうる性能・機能
- ・安全、環境、省エネ、性能で差別化技術を投入
- ・最新排ガス対応

## 2.2 新興国仕様機

### 【信頼性を維持した低価格機の投入】

- ・現地生産（インド、中国）
- ・現地調達率向上によるコストダウン
- ・現地市場ニーズの取込
- ・実績ある3次排ガス機をベースにした品質

## 3. 技術戦略

低価格戦略で市場浸透を狙う中国メーカーや、ドル・ユーロ安を背景にシェア奪回を狙う欧米メーカーも交え、世界のクローラクレーン市場での競合はますます激化している中で、機種・クラス・仕様ごとの市場ニーズに合った商品力が重要であり、以下のような差別化を図ってきている。

### 3.1 中小型クラスのグローバル機

コモディティ化が進んでおり、クレーン性能をキープしながら中間4次排ガス規制に対応する。また、モデルチェンジに合わせて安全性向上や経費節減としての燃費削減および輸送費削減を織込み、差別化を図っていく。

とくに、燃費削減やCO<sub>2</sub>削減に効果的な省エネ技術、分解輸送性向上に向けた軽量・コンパクト化技術にはこだわりを持って取り組んでいる。

### 3.2 基礎土木仕様機

掘削作業量の最大化に向け、高出力エンジンと高ラインプルウィンチに加え、連続掘削作業に耐えうるブレーキとして制御性の良い湿式ブレーキウィンチを他社に先駆けて開発した。これにより、100t以下クラスでシリーズ化を推進して基礎市場で高い評価を得、販売台数を伸ばしてきた。一方、100t超クラスは欧州メーカーの独占状態を許している。さらに、工事が大型化している傾向も考慮すると、大型機のメニュー補強が急務となっている。そこで、制御性の良い大型湿式ブレーキウィンチと

大型バケット制御システムを核とした差別化技術により、市場浸透とシェアアップを図る。

### 3.3 大型クローラクレーン

グローバル対応として各国の規制や規格に適合した機種を開発し、2007年よりSLシリーズとして上市してきた。しかしながらメニュー不足は否めず、1,000t超クラスの市場投入が急務となっている。大型工事に合わせて各地を点々とする性格上、特殊工事に対応できる豊富なアタッチメントに加え、輸送性および分解組立性に関するニーズは高く、軽量高剛性の構造や分解組立が容易な構成、安全でマシンダウンしないシステムを核とした差別化で市場シェア拡大を図っていく。

### 3.4 新興国向けクローラクレーン

低価格戦略の中国メーカーに対し、実績のある性能・品質による差別化を基本に、部品の現地調達および現地組立でコストダウンを推進し、新興国市場への浸透を図る。なお、これまでに培った品質評価技術をフルに活用して部品を現地調達することにより、コストダウンを図っている。

### 3.5 グローバル市場のニーズ取得システム

グローバル市場で活躍するクレーンの商品力強化には、市場のニーズと機械の使われ方を把握することが必須となる。そこで、ユーザに位置、稼働および故障の状況を提供するために遠隔稼働管理システム「KCROSS」を開発した。2008年4月より実運用を開始しており、機械の使われ方を把握して将来へ向けての差別化ポイントを探っている。

**むすび**＝グローバルな視点で厳格化する規制を順守するとともに、安全性・信頼性や省エネ、作業性の向上などで差別化を図り、ユーザにとって付加価値の高い商品作りを目指し、社会貢献につなげていきたい。

(技術資料)

# 「K30Dynamite」現場力の向上を継続・発展させるシステム

## "K30Dynamite" System for Continuing to Improve and Develop Manufacturing Site Power



河野太郎\*1  
Taro KONO



西田吉男\*1  
Yoshio NISHIDA

After Lehman's fall, the domestic production of construction machinery dropped sharply. The K30Dynamite project began under such circumstances with a purpose of achieving the best productivity in the construction machinery industry, while also aiming at creating a comfortable work place. The project, which started with two model lines, is being carried out at domestic manufacturing sites targeting fast-growing markets (China, Thailand, etc.). The achievements of this project are evident, not only in its visible effects such as improved productivity, reduced production lead time and improved quality and safety, but also in the improvement of corporate culture and motivation. All the members participating the project enjoyed putting forth their ideas, which led to good results drawing attention from the media and external groups. All our know-how will be incorporated in the new Itsukaichi factory project, which began in 2012, and further improvements are anticipated.

ま え が き＝近年、新興国の拡大により建設機械事業全体は拡大し、中国を中心とする海外工場の生産台数が日本を逆転した(図1)。このようにグローバル化する事業環境への対応として、国内のものづくり力を強化し、海外生産拠点へ展開することが急務となっている。

一方、リーマンショック以降、国内生産が大幅に減少した。コベルコ建機広島事業所においても生産台数がピーク時から半減して(図2)、スペース、時間、設備に大きな余力が発生したが、これを機に、ものづくり力強化

に向けた改善活動への取組を開始した。すなわち、以下に示すような現場力⇒生産技術力⇒開発力と3段階のステップアップ活動を実施した(図3)。

### 1) K30Dynamite

狙い：現場力(問題を見つける力/解決する力)の向上  
内容：筋肉質な製造現場を目指した活動(人/スペース/設備の活人・活用)

### 2) V200Revolution

狙い：生産技術力(本質的なものづくり力)の向上  
内容：図面や工程設計に踏込んだスタッフ主体の活動

### 3) 開発プロセス変革

狙い：開発力の向上  
内容：ものづくりの思想を開発初期で織り込み、大幅なコストダウン/開発・生産のリードタイム短縮を図る活動

本稿では、グループ内外でとくに大きな成果を挙げているK30Dynamiteを中心に、これらの活動の概要を紹介する。

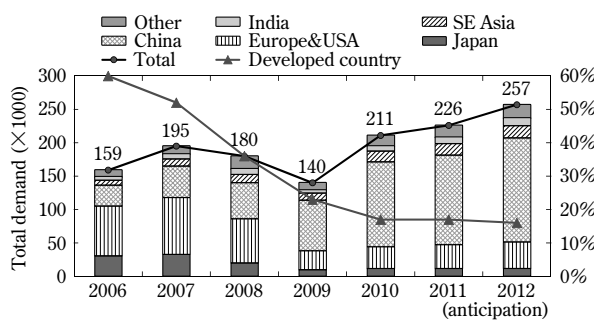


図1 ショベルの総需要の推移(6t以上)

Fig. 1 Transition of total demand of excavator (over 6t)

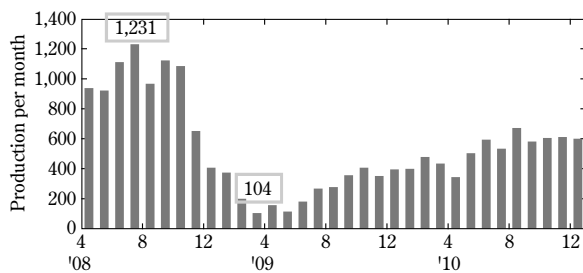


図2 広島事業所の月産台数の推移

Fig. 2 Transition of production per month in Hiroshima factory

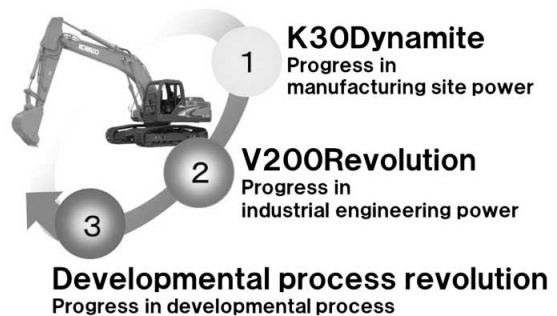


図3 ものづくり力強化の3ステップ

Fig. 3 3 steps of improving manufacturing power

\*1 コベルコ建機(株) グローバルものづくり推進本部 推進部



# 1. K30Dynamite活動の概要

K30Dynamite（以下、K30Dという）の名称は「K＝コベルコ、改善、継続の頭文字」、「30＝工数30%削減」、「Dynamite＝現状打破」から名付けた。

## 1.1 活動コンセプト

従来型の改善活動は、工数削減を達成するため作業が早くできるように作業者に無理をさせてしまい、結果として改善は疲れるものとなるが多かった。それでは改善が継続できないため、「働きたくなる職場作り」をコンセプトとした。改善の発想は楽楽改善「辛い作業をなくし楽に楽しくする」であり、以下の目標が達成できるように現場とスタッフが一体となって活動を進めた。

- (1) 業界 No.1 の生産性（改善前より工数30%削減）
- (2) 業界 No.1 の製造品質
- (3) 業界最高水準の安全

## 1.2 活動の特徴

K30D活動は、日本の工場全体だけでなく、海外工場も含めたグローバルな活動となっている。主な特徴を下記に示す。

### (1) 人材活用による活性化

本活動の最大の特長である。効率化により捻出した要員を改善専任スタッフ／新規アイテムの内作取込／海外工場の改善指導者として活用することで、現場の作業効率改善だけで終わらず、活動をスパイラル的に継続／発展させることが可能（図4）。

### (2) 現場が楽しんで活動

改善を達成した工程は、明るく綺麗に目立つように床面を白色で塗装するなどして、自信と誇りを持って働ける職場の雰囲気を醸成。

### (3) コベルコ建機(株)独自の活動

外部コンサルからの指導ではなく、室長クラスが自ら現場・現物で改善を実践・牽引。

### (4) 会社全体で取組む活動へ発展

二つのモデルラインから全ラインへ展開していった発展的な活動。

### (5) グローバル展開

改善によりラインから班長や班長クラスの人員を捻出。中国やタイなどの成長する市場へ改善経験者として派遣し、ともに現地で改善を行うことで活動をグローバル展開。

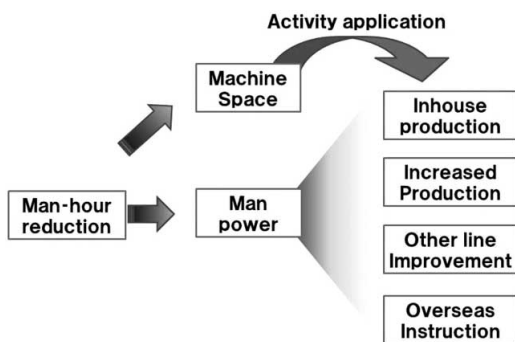


図4 現場力の向上を継続／発展させるシステム

Fig. 4 The system which continues and develops improvement in manufacturing site power

## 1.3 改善における着目点

改善の切口としては、生産活動における5悪の撲滅を掲げた。5悪とは「歩く」「探す」「しゃがむ」「クレーン使う」「手待ち」の5つである。

具体例を挙げると、最初のモデルラインとして改善を行ったエンジン組立では、エンジンを中心に歩き回る、しゃがんで作業をする、遠くに部品や工具を取りに行くなどの無駄な動きがごく当たり前であった（図5）。これを、人が動かず、しゃがまずに作業ができるように回転機能付きリフターの導入や、部品を探さなくて良いように幕の内弁当型の部品払出荷姿を実施した（図6）。

## 1.4 活動の進め方

1) 本活動は2008年12月二つのモデルラインより活動を開始し、2011年1月までに国内外63ラインに展開した（図7）。

2) 現場改善は、製造室長をトップに現場監督者、作業員、専任改善スタッフが一体で推進した。QC活動と違い、就業時間中に活動を実施した。

## 1.5 改善を楽しむ仕組み

目標を高く維持して、短期的に結果を出しながら活動を継続していくには、改善担当者のモチベーションが高い状態で維持されることが重要となる。そのため、本活動では改善を楽しむ仕組みを作り上げた。

### 1) からくり改善（高まる自発性）

楽楽改善の一環として、動力に頼らないからくり改善を2009年より推進し、21作品が完成した。からくり考案者には命名権と好きな色に塗る権利を与えた。

約40kgのコンベアを立てたり倒したりしていた重筋作



図5 改善前のエンジン組立ライン

Fig. 5 The engine assembly line before improvement

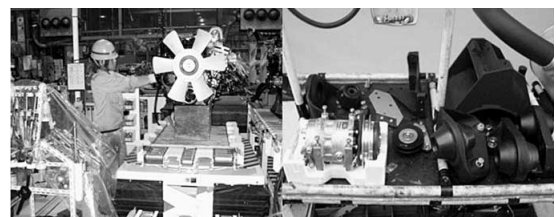


図6 改善後のエンジン組立ライン

Fig. 6 The engine assembly line after improvement

		2008	2009	2010	Total
Dedicated staff of improvement		13 people	24 people	34 people	
Japan	Improvement	2 Line	12 Line	15 Line	29
	Inhouse production		1 Line	3 Line	4
China	Improvement			28Line	28
Thailand	Improvement			2 Line	2

図7 世界中の改善活動の展開

Fig. 7 Development of improvement in whole world



図8 からくり作品「足でボン」  
Fig. 8 Performance of karakuri "Ashi de pon"

業を足で上げ下げできるように改善したからくり改善事例を紹介する(図8)。

## 2) 他流試合へ参加(深まる自信)

国内トップ企業の活動を知り、自らのレベルを確認するため、外部の発表大会へ積極的に参加した。代表例として、「からくり改善くふう展2010」へ5作品出展し特別奨励賞を受賞した。

職場改善事例発表でも第一線監督者の集い(日本能率協会主催)へ参加し、関西大会で優秀賞を受賞し2010年、2011年と2年連続で全国大会へ出場した。

こうした対外発表を通じて成功体験をすることで自信を醸成している。

## 3) 経営トップ参加の社内報告会(みなぎるやる気)

3箇月ごとに経営トップ、グループ会社、海外現地法人も参加して現場・現物で改善メンバが報告する。懇親会では社長が改善メンバ全員を激励して、モチベーションの維持に努めている。

## 2. K30Dynamite活動の成果

### 2.1 独創性

1) 全ライン目標は工数削減30%と高い「改革レベル」。広島事業所では2年間で33ラインに展開し、平均30%の工数削減を達成。中には工数40%削減を達成したラインもある。

2) 楽楽改善を主軸とした楽しみながらの活動で、現場環境、作業員、専任改善スタッフがレベルアップしながら継続する活動。改善された現場の作業員が他工程や海外工場の改善をすることで、人材育成の場としても有効である。

3) モデル工程から海外工場を含めた全社活動へ発展する全員参加型プロジェクト活動。報告会では現場作業員から社長までが参加する。

### 2.2 経済効果

本活動による経済効果は、工数削減による人件費削減、内作取込による費用削減、近隣倉庫の賃借料や輸送費などの外部流出費削減効果が挙げられる(表1)。

また、中間仕掛や工程数削減により、全体の生産リードタイムは改善前の7.6日から4.6日へと3日間短縮した。広島事業所のリードタイム短縮実績を表2に示す。結果として約2.7億円のキャッシュフロー改善も達成した。

表1 K30Dの経済効果

Table 1 Economical effects of K30D

Item	2008	2009	2010
Reduction man-hour cost	3	1,900	8,100
Inhouse work cost	—	600	3,000
Outside work cost	—	100	100
Total	3	2,600	11,200

(million yen)

表2 広島事業所の生産リードタイム

Table 2 Production lead time in Hiroshima factory

Manufacturing line	Before	After	Difference
Middle class car body fabrication	4.3	1.5	- 2.8
Floor plate sub assembly	1.3	0.4	- 0.9
Middle class crawler fabrication	2.4	1.7	- 0.7

(day)



図9 捻出スペースの有効活用例(右:改善前 左:改善後)  
Fig. 9 The example of effective use of a working-out space  
(Right: before Left: After)

## 2.3 安全性の向上

2010年の全災害度数率が1/3に減少した。

(2008年:9.6 ⇒ 2010年:3.3)

捻出したスペースを安全通路などに活用した(図9)。

## 2.4 品質の向上

社内検査で発覚する不具合件数が1/5に減少。

(2008年:5.0件/台 ⇒ 2010年:0.8件/台)

## 3. さらなる技術のステップアップ

さらに競争力を向上させるには現場改善だけでは限界がある。そこで、ステップアップとして1~2年程度K30Dを経験したメンバを、工程設計や図面、開発といった上流にさかのぼった活動にあたらせることで、よりのものづくり力の強化に努めることとした。

### 3.1 V200Revolution:生産技術力の向上

K30Dの改善内容を図面、工程設計へ反映させ、生産技術力の向上を目的とした活動である。現在実施している内容は、塗料費半減および溶接ラインの仮組時間半減である。目標値は生産性倍増とさらに高く設定しているため、作業をしている時の無駄をなくすだけでなく、付加価値を生んでいる作業自体を見直す活動を行っている。

実際に塗料費半減を目指した活動を例にすると、当初17%であった塗着効率を倍増させることに注力した。エアスプレー塗装を静電塗装に切替えるために、ブースの環境改善や静電塗装で塗り込めない部位を把握し、それに合わせた作業方法に変えたことで、当初期待していた以上の47%と約3倍の塗着効率を達成した。参考までにエアスプレー塗装と静電塗装を図10に示す。

### 3.2 開発プロセス変革:開発力の向上

新規ショベルのコンセプトを決める段階から開発に参加して、ものづくりの思想を織込んでコストダウン、ま





図10 エアスプレー塗装(左)と静電塗装(右)  
Fig.10 Air spray painting(left) and electrostatic painting(right)

た設計への図面手戻りをなくすことによる開発リードタイム短縮を目指した活動である。

現在は、6t以下のミニショベル、20~35tの主力になる中型ショベル、海外生産機の3つのプロジェクトに入り込み、現場力・生産技術力を磨くことで見えてきたものづくりの本質を、機械コンセプトに織り込むことで製造原価10%以上のコストダウン実現に向けて、部署の垣根を越えて活動中である。

開発フロントローディング活動として、上流で品質を作り込むことにも着手している。具体的には、当社の強みでもある3D設計を有効活用し、仮想空間で治工具との干渉、組立順序による干渉を検証する仕組みを構築し、図面精度向上や試作時により量産ラインに近い評価ができる開発プロセスの確立を目指している。

#### 4. 今後の展開

国内工場のコストハーフ化、海外工場の生産性30%向上の実現に向けて、国内ではさらに工数30%削減、海外はK30D全ライン展開による現場力の向上が必要である。

現場力向上だけではこれ以上生産性を上げることは困難であるため、コストハーフ実現には、工程設計や図面、または開発段階と上流からものづくりの思想を織込み、さらなる生産性、品質、安全面の向上に向けた展開が必要である。

#### 4.1 グローバル展開

さらなる展開として国内外の全ラインへ展開し、グローバルに現場力の底上げを実施していく必要があると考えた。これは海外に展開する場合、単純に日本で実績のある設備ややり方を移管するということではない。活動を継続・発展していくものとするためにも、現地に改善経験者を派遣し一緒にやっていくことで、楽楽改善の考え方や自発性を高める仕組みを根付かせることとした。

むすび=本活動を通して、国内の需要が減少する一方、新興国の旺盛な需要によりグローバル化する環境において、現場力の向上を継続・発展させるのみでなく、生産技術力、開発力の向上に向けた活動へとつなげていく発展的なシステムとして構築することができた。競合他社からも、世界一のスペース効率・短期間での変革などで本活動を高く評価していただいている。

このK30Dによる工数削減30%に合わせて、2012年稼働の五日市新工場計画(図11)でさらに30%削減を目標とし、活動を深化させることでコストハーフの工場の実現に向けて活動を継続・発展させていく。

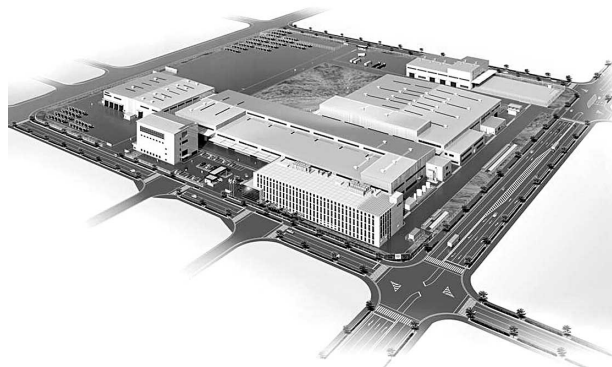


図11 五日市新工場  
Fig.11 Itsukaichi new factory

(技術資料)

# メインブーム兼用型解体機とその応用

## Multi-purpose Demolition Machine with Main Boom and Its Usage



庭田孝一郎\*1

Koichiro NIWATA

Hydraulic excavators are capable of operating many kinds of actuators and are used not only for digging, but also for various types of work using the actuators. Conventional building demolition has employed various excavators, each developed for different attachment designed for a wide working range, from high to middle elevations to foundations. This has imposed a great burden on the users, who had to cover all the costs of keeping excavators with different attachments. To solve such a problem, we have developed a series of multi-purpose demolition machines. Each machine has a main boom on which different types of attachments can be installed. This article describes the usefulness of the multi-purpose excavators that have been developed; it is accompanied by illustrations.

まえがき＝近年、市街地での解体現場では、搬入道路や現場スペースなどの制約が大きくなっており、工期短縮のため大型機を投入することや機械稼働台数を増やすことが困難な場合がある。また、解体工法も地上からの施工や建物の屋上からの解体などさまざまな工法がある。階上解体の場合には大型クレーンの進入ができず、吊上げ能力に制限を受けるため、解体作業を行う機械の大きさも小さくせざるを得ないケースがあり、解体作業の現場環境はますます厳しくなっている。

一方、建物解体業界の購入形態においてはレンタル化が進んでいる。仕様が多彩な解体機の場合、クラスごとに何種類もの機械を保有することは、駐機スペースだけでなく機械の稼働率が低下して投資回収面でも大きな負担となっている。

本稿では、これらの課題を解決したメインブーム兼用型解体機の商品概要を紹介する。

### 1. メインブーム兼用機の狙いと特徴

コベルコ建機(株) (以下、当社という) では、多くの解体機を品ぞろえしているが、特筆すべき仕様機に「メインブーム兼用型解体機」(図1)がある。本仕様機の特徴は、本体に取付けられたメインブームに複数のアタッチメントを接続できることである。概念図を図2に示す。メインブームの先端には2箇所のピン結合部を有しており、セパレートブームや超ロングアタッチメントなどのアタッチメントを装着することができる。このメインブーム兼用型解体機は1台のベースマシンで多様な作業ができ、機械稼働率が高まるだけでなく、購入時のイニシャルコストや駐機スペース、整備費用の削減に寄与している。本仕様機はこれまで大型機を中心に開発してきた



図1 SK235SRメインブーム兼用型解体の本体

Fig. 1 Base machine of SK235SR

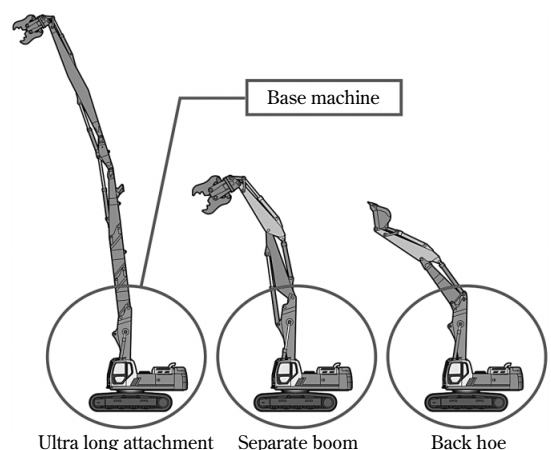


図2 メインブーム兼用機概念図

Fig. 2 Concept of machine with common use type main boom

が、需要環境の変化から小型機への要求も高まり、中小型油圧ショベルの13tから26tクラスに展開した。

\*1コベルコ建機(株) 開発生産本部 環境特機開発部

## 2. アタッチメントの概要と使われ方

本稿で紹介するSK135SRからSK260DLCで設定されているアタッチメントについて、長さの短いセパレートブームと長尺の超ロングアタッチメントの二つに区分して説明する。

### 2.1 セパレートブーム

セパレートブームは中間部分のジブシリンダにより屈曲でき、油圧ショベルと比べて約2倍の作動範囲となる。また、このジブシリンダにより、大きな持ち上げ能力を持ち、アーム先端もクローラ前端付近まで近づけることができる。このため、足元解体で効率良く作業が行うことができ、ビル低層階から基礎までの解体に対応できる作業範囲を有する。先端アタッチメントは、圧碎機以外にブレーカ、回転フォークやバケットなどを装着することができ、さまざまな作業が行える。そのほか、汎用油圧ショベルと同じ形状の掘削用途のバックハウアタッチメントも設定している。SK200DLCのセパレートブームとバックハウ仕様機について、作動範囲図の比較を図3に示す。図4にSK260DLCセパレートブーム仕様機の外観を示す。

### 2.2 二つ折れ、三つ折れ超ロングアタッチメント

超ロングアタッチメントには二つ折れ仕様と三つ折れ仕様の2種類がある。二つ折れ超ロングアタッチメント仕様機は、作動部の関節は1箇所、アタッチメント質

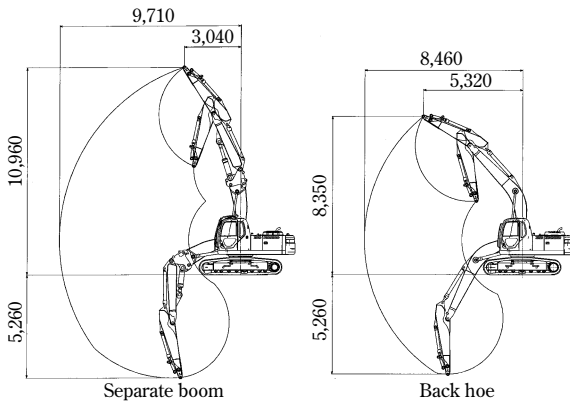


図3 SK200DLC 作動範囲比較  
Fig. 3 Operation range comparison of SK200DLC



図4 SK260DLC セパレートブーム仕様機  
Fig. 4 Separate boom machine of SK260DLC



図5 SK235SRDLC 二つ折れ超ロングアタッチメント仕様機  
Fig. 5 2 piece ultra long machine of SK235SRDLC

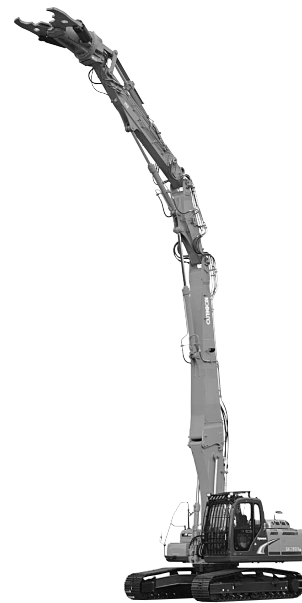


図6 SK260DLC 三つ折れ超ロングアタッチメント仕様機  
Fig. 6 3 piece ultra long machine of SK260DLC

量が軽く、操作パターンもバックハウと同様であることから扱いやすい機械である。図5はSK235SRDLCの二つ折れ超ロングアタッチメント仕様機で、最大作業高さは13.68m、4階建ての建物解体が可能である。

もう一つの長尺アタッチメントの三つ折れ超ロングアタッチメントは、中間部にあるインタブームを作動させることで作業範囲を広げることができる。図6のSK260DLCは、最大作業高さ16.5mと5階建てビルの解体作業が行える。

## 3. 本体外形

メインブームを装着した機械外形を図7に示す。SK135SRDLC、SK235SRDLCはベースマシンが後方超小旋回機であり、狭い現場でも後方を気にせず作業ができる。また、最も大きいサイズのSK260DLCでも、アタッチメントを取外したメインブームだけの輸送姿勢では全長6.27m、機械質量は24.3tと汎用のトレーラで搬送できる諸元である。

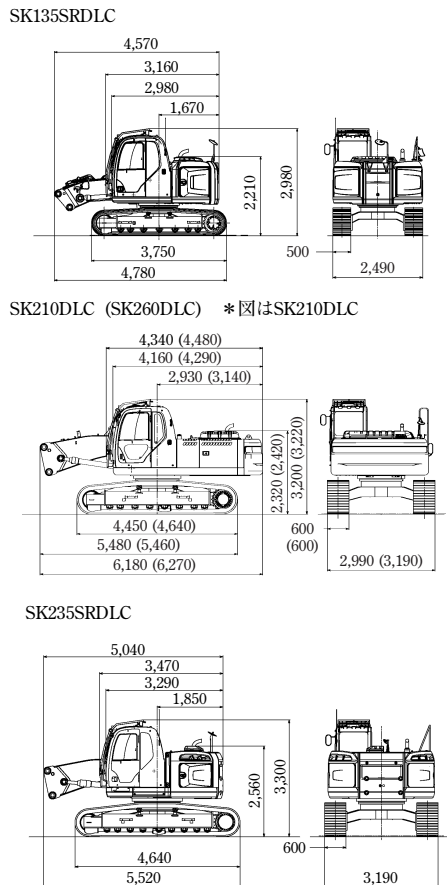


図7 機械外形図  
Fig. 7 General configuration

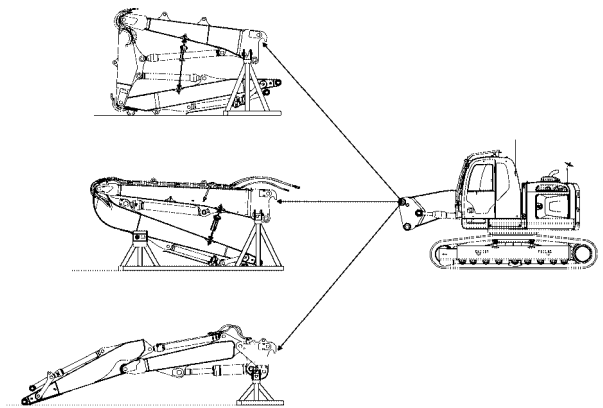


図8 アタッチメントバリエーション  
Fig. 8 Variation of attachment

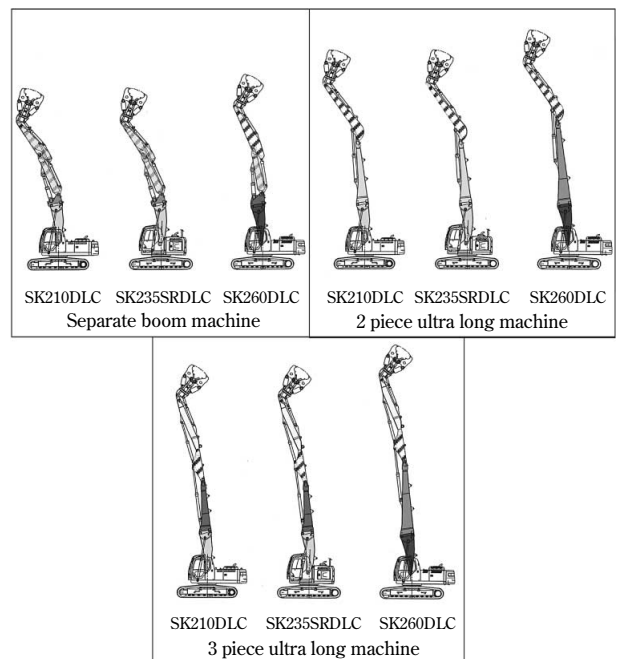


図9 アタッチメントの構成部品の組合せ  
Fig. 9 Combination of attachment parts

#### 4. アタッチメントの品ぞろえ

それぞれの機種に設定されたアタッチメントの一覧表を表1に示す。

メインブーム兼用型解体機は1台で複数のアタッチメントを装着することで機械の付加価値を高めている。今回設定したアタッチメントは機種ごとの車格と本体性能に応じて、建物解体、基礎解体やガラの積み込みなどさまざまな解体現場で稼働できる。図8にはSK235SRDLCにおけるアタッチメントの組合せ例を示す。

また今回の機種展開では、アタッチメントの共通化を推進めることで開発効率を大幅に高めた。具体的には、中型油圧ショベルをベースにしたSK210DLC、SK235SRDLCおよびSK260DLCの3機種で構成されるアタッチメントを図9のように部品共通化した。仕様機ごとに同じパターン分けしている構成部品が共通化されている。今回の開発での構成部品の共通化により3機種、3仕様で合計9種類のバリエーションが設定でき、新たに4種類のバリエーションを商品化した。

表1 機種別のアタッチメント  
Table 1 Attachment line up for each model

	SK135SR	SK235SR	SK210DLC	SK260DLC
Back hoe	○			
Separate	○	○	○	○
2 piece ultra long	○	○	○	○
3 piece ultra long		○	○	○

#### 5. アタッチメントの分解組立

解体現場で作業効率を上げるために、複数のアタッチメントを交換して使い分ける必要がある。組立時には、まずメインブーム先端の位置決めバーにフロントブーム側のフックを引っ掛けて、メインブーム先端の上下にある2箇所の接続ピン穴を容易に位置合わせができるような構造となっている(図10)。具体的には、本体を走行させてアタッチメントに接近し、メインブームに取付けられたブームシリンダを持上げることによって位置決めバーがフックにかみ合う。フック部を中心に回転させることにより、アタッチメント側とメインブーム側の両側にある2箇所の接続ピンの位置合わせを容易に行うことができる。

従来のセパレートブームでは、分解組立時する際、ピンや油圧シリンダのホースなど数多くの部品の脱着が必要となり、作業時間を要した。今回開発したメインブーム兼用機では、メインブームフロントと称するシリンダの取付け部がある構造物をメインブームとセパレートの



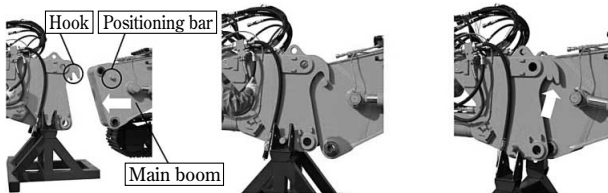


図10 アタッチメントの組立手順  
Fig.10 Procedure of attachment assembly

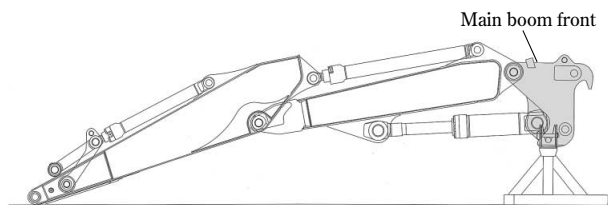


図11 メインブームフロント  
Fig.11 Main boom front

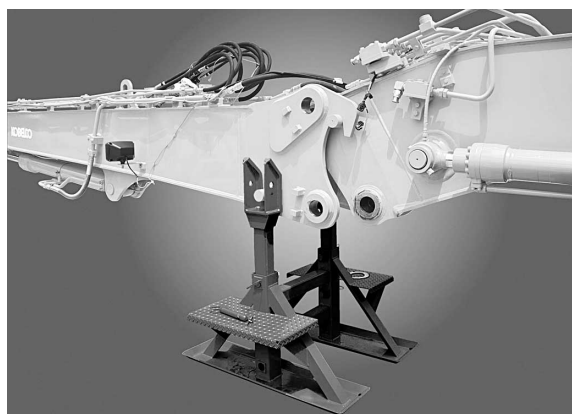


図12 アタッチメントの設置架台  
Fig.12 Setting stand of attachment

フロントブームの間に構成することによって一体で分解することができ(図11)、セパレートブームの分解組立性を大幅に向上させることができた。

また、組立分解時にクレーンを使わずかつ安全に作業ができるように、図12のようにアタッチメントの設置架台も準備している。さらに、配管取付け作業の作動油の流出を最小限に抑えられるよう、配管接続部にはストップバルブを装備している。

## 6. 安全装置

いずれの仕様機においても、解体作業時の安全が確保できるようにきめ細かい配慮を織込んでいる。超ロングアタッチメント仕様機には、作業中の転倒危険域をオペレータに知らせる警報装置を装備している。この装置は、アタッチメントの各関節部分に角度センサを取付け、所定の安定度以下になるとブザーを吹鳴させる。また、落下物や破片などによるガラス窓の破損を防ぐ目的で、解体キャブには3面のガードを装備している(図13)。さらに、アタッチメントの姿勢によって先端アタッチメントがキャブと干渉する可能性があることを想定し、キャブ干渉防止装置を設けている。この安全装置は、アーム先端に装着した圧砕機がキャブ前端から1m以内に入ると接触の危険をブザーで吹鳴するものであり、標準装備されている。図14にキャブ干渉防止装置の概念図を示す。



図13 解体キャブ外観  
Fig.13 Appearance of demolition cabin

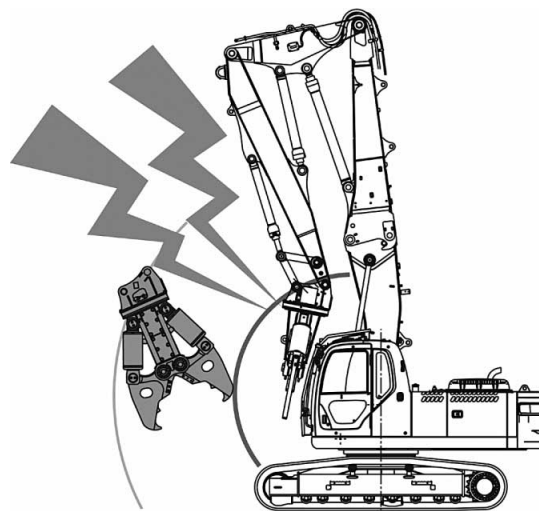


図14 キャブ干渉防止装置の概念図  
Fig.14 Cab interference prevention system

その他装備品として、ブーム落下防止バルブ、後方確認カメラ、および走行アラームなどがある。

## 7. 応用事例の紹介

本稿で紹介したメインブーム兼用型解体機は既に商品化され、実際の解体現場にて数多く稼働している。図15は解体現場で稼働中のSK135SRDLCセパレートブーム仕様機、図16はSK235SRDLC二つ折れ超ロングアタッチメント仕様機である。

本仕様機の特徴であるメインブーム兼用型解体機は、解体仕様以外にも、搬送性や作業性に対する要望からバリエーションが広がっている。以下にその応用事例を紹介する。

長尺のアタッチメントには、解体機以外にも河川の浚渫(しゅんせつ)や圃場(ほじょう)整備作業を行うロングレンジ仕様機があり、作業範囲が大きいというメリットがある。しかしその反面で、機械搬送面での難点がある。図17はメインブーム兼用型解体機のブーム分割を応用したSK260LC分割型ロングレンジ仕様機で、輸送性を大きく改善することができた。図18はアタッチメント分割後の状態を示す。





図15 SK135SRDLC セパレートブーム仕様機  
Fig.15 SK135SRDLC separate boom attachment machine



図16 SK235SRDLC 二つ折れ超ロングアタッチメント仕様機  
Fig.16 SK235SRDLC 2 piece ultra long attachment machine



図17 SK260LC 分割型ロングレンジ  
Fig.17 SK260LC Separated type long reach machine

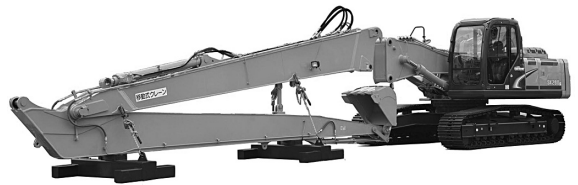


図18 分割時のSK260LC ロングレンジ  
Fig.18 SK260LC long reach in separation

むすび＝油圧ショベルは元来数多くのアクチュエータを作動させることができ、多種多様なアタッチメントが設定できるという大きな特徴を有している。メインブーム兼用型はこのような特徴をさらに生かすことができる機構である。

現在は解体仕様機を中心とした土木作業にも適用されているが、将来は、さらに利用範囲が拡大することが期待できる。

(論文)

# 8t級ハイブリッド油圧ショベルSK80Hの開発

## Development of 8 Tonne Class Hybrid Hydraulic Excavator SK80H



鹿児島昌之\*1

Masayuki KAGOSHIMA

In response to the demand for higher fuel efficiency and a lower operational cost, we have developed a new control system for diesel engine-electric motor hybrid excavators. The system comprises controllers for an electric generator-electric motor, an electric swinging motor, and a diesel engine, as well as a battery monitor, which are governed by a hybrid controller. The system, installed in the SK80H model, has achieved a 40% reduction in fuel consumption and a significant reduction in the noise generated from the excavator in comparison with our models on the market. The SK80H model is in the 8 tonne class and has already been launched in the market.

まえがき＝温室効果ガス排出削減による地球温暖化防止への関心が高まり、省エネ技術がますます注目されている。自動車業界では、電動機の高性能化、インバータなどパワーエレクトロニクス技術の進歩、NiMH/Liイオンなどバッテリー技術の進歩などにより、ハイブリッドシステムがすでに商品化され、さらに電気自動車も実用化されつつある<sup>1), 2)</sup>。

コベルコ建機(株)においても、1999年より新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)および(株)神戸製鋼所と共同でシリーズハイブリッドシステムを採用した油圧ショベルの研究開発を行ってきた。その技術をベースに、より実用的なシステムの商品開発を行い、量産機としてのハイブリッドショベルSK80Hを完成させたので報告する。

### 1. ハイブリッドショベルの狙い

#### 1.1 油圧ショベルの構成と動力活用状況

油圧ショベルは、ブーム、アーム、バケット、旋回、および左右走行など複数のアクチュエータを有し、油圧ポンプによってこれらのアクチュエータを駆動させて掘削などの作業を行う(図1)。図2は8t級油圧ショベルによる掘削作業1サイクル分における油圧ポンプの入力パワーおよびアクチュエータの消費パワーの変動の様子を示す。この図からわかるように、従来の油圧ショベルは常に最大負荷に対応できるパワーを油圧ポンプから供給し、たとえ各アクチュエータの消費パワーが低い場合でもその余剰パワーを熱として放出している。これには、各操作の操縦フィーリングを向上するために織り込んでいる操作系損失、あるいは作業装置の下降および旋回停止時などに消費される位置・運動エネルギーの放出によるものが含まれる。図3に油圧ショベルの動力伝達図

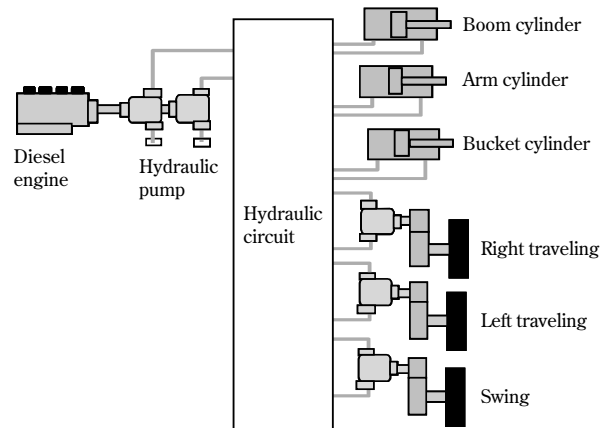


図1 油圧ショベル構成

Fig. 1 Block diagram of hydraulic excavator

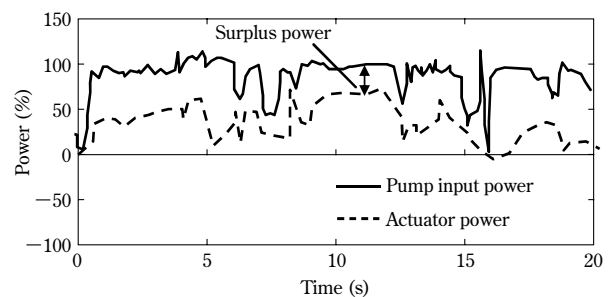


図2 油圧ショベル動力

Fig. 2 Power of excavator

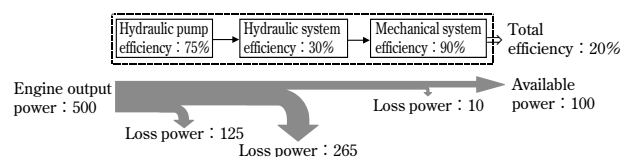


図3 動力伝達図

Fig. 3 Power flow

\*1 コベルコ建機(株) 開発生産本部 要素開発部

を示す。図中には、システム各部の効率、およびエンジン動力を500とした場合のパワーフローを示した。油圧ショベルでは、平均するとエンジン出力パワーの20%しか活用されていないのが現状である。

一方、自動車分野では、ハイブリッドシステムの開発が進み、ハイブリッド自動車として実用化されている。自動車では、主に回生エネルギーの再利用やエンジンの部分負荷運転域でのシステム効率改善を図っている。ところが油圧ショベルは、制御するアクチュエータ数が自動車より多く、各アクチュエータには掘削反力などの大きな抵抗が作用する。さらに、重掘削などの高負荷作業と水平引きや均し（ならし）などの低負荷作業とが短時間に繰返されるため、これらのアクチュエータは大きな負荷変動を受ける。油圧ショベルのハイブリッドシステム化を検討するにあたって自動車との違いを考えたとき（表1）、負荷変動の大きい油圧ショベルに対して自動車用のハイブリッドシステムをそのまま適用するのでは不十分であり、油圧ショベルに適したシステム開発が必要であった。

### 1.2 燃費低減のポイント

前節の検討を踏まえ、油圧ショベルのハイブリッド化においては、以下の3点を狙いとしてシステム開発を行った。

#### 1) 旋回電動化

旋回駆動を電動化することによって回生動力を再利用可能にするとともに、油圧駆動で発生していた損失を大

幅に削減した。また、旋回電動化によってブームなど他アクチュエータからの独立駆動とすることができ、ブームの上げ/旋回の同時操作をはじめとする複合動作時に生じる分配ロスも低減した。

#### 2) 油圧部損失低減

燃費を向上させるためには、単にハイブリッドシステムを搭載するだけでは効果は少なく、油圧系の効率改善が必要である。ポンプやバルブなどの油圧機器および配管系の流動抵抗を点検し、設計や部品を見直すことによって油圧損失を大幅に低減した。

#### 3) エンジン負荷平準化

油圧ショベルの主要動作（掘削、ブーム上げ旋回、積込、ブーム下げ旋回）におけるエンジン負荷状況を図4に示す。比較のため従来ショベルの動力も図中に示している。同図に示したように、低負荷時の余剰エネルギーを利用して発電し、バッテリーに充電する。高負荷時はバッテリーに蓄えた電力を利用して電動機を駆動させ、エンジンを積極的にアシストする。この仕組の導入によってエンジン負荷の平準化が可能となり、搭載エンジンの小型化と高効率運転を実現した。

## 2. ハイブリッドショベル

### 2.1 システム構成

図5にコベルコ建機(株)が開発したハイブリッドシステムの構成を示す。8t級ショベルを対象に、ブームなどの油圧系はパラレル駆動とし、旋回はシリーズ駆動とするシリーズパラレルハイブリッドシステム構成とした。多種多様なハイブリッドシステム構成が考えられるなか、本開発では、電動機などのハイブリッド機器を搭載することによるコストアップの試算結果、およびシミュレーションによって予測した燃費削減効果に基づき、コスト対燃費効果の最も大きいシステムとして本構成を選択した。従来ショベルは、エンジンで駆動されるポンプによって油圧を各アクチュエータに分配するが、本システムではエンジンと発電電動機の両方のパワーでポンプを駆動する。

制御システムは、ハイブリッドコントローラ、電動機

表1 自動車と油圧ショベルの比較

Table 1 Comparison of automobile and hydraulic excavator

	Automobile	Hydraulic excavator
Application	Running	Digging, Leveling, Loading
Operation	Handle, Pedal	Lever (multiaxial)
Number of actuator	1	6
Type of Load	Running resistance	Excavation reaction force
	Inertial force	Inertial force
Load fluctuation	small	big
Velocity fluctuation	small	big

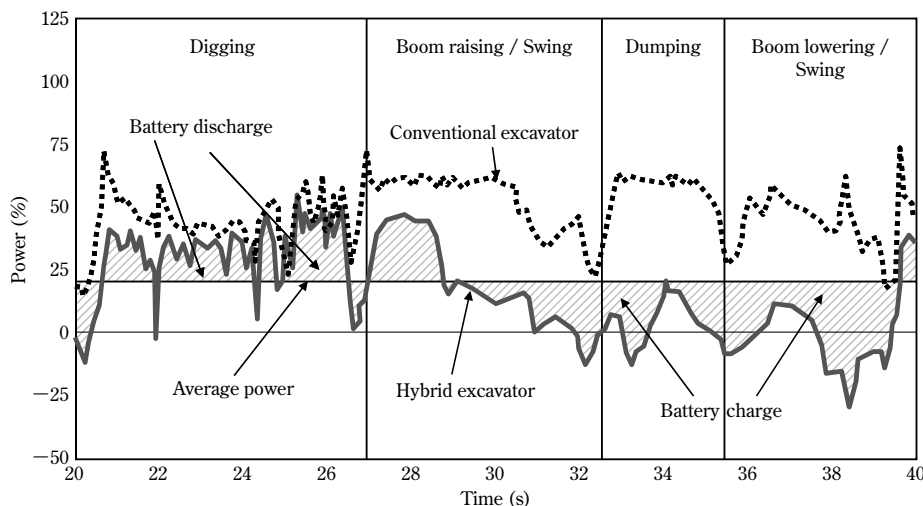


図4 エンジン負荷平準化

Fig. 4 Leveling of engine load

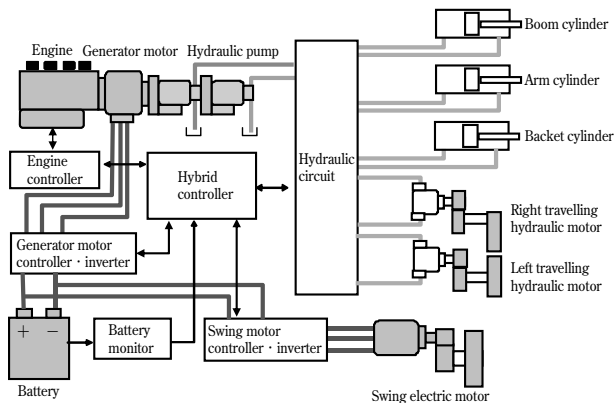


図5 ハイブリッドショベル構成  
Fig. 5 Block diagram of hybrid excavator

コントローラ、エンジンコントローラおよびバッテリーモニタなどの複数のコントローラで構成され(図5)、これらが協調制御を行う。ハイブリッドショベルは、従来のショベルと比べて、とくにインバータノイズなどの過酷なノイズ環境下にさらされるため、センサなどの配線を極力短くする必要がある。そのため、電動機コントローラやバッテリー監視装置を機器と一体化し、さらにコントローラ間を高速のシリアル回線で接続することによってシステムの信頼性を向上させた。

つぎに、各コントローラの機能について説明する。各機器に対して1台のコントローラを割り当てており、ハイブリッドコントローラからの指令に基づいて機器制御を行うとともに、機器の故障検出や故障発生時の機器停止制御も行う。ハイブリッドコントローラは、各コントローラからの情報(機器の状態、センシング情報、エラーなど)をすべて受取って統括、管理するとともに、システム全体のパワーマネジメント制御を行う。このように各コントローラで適切な機能分担を行うことにより、システム全体の協調制御を実現した。

## 2.2 ハイブリッド機器

ハイブリッドシステムの性能(システム効率、動力性能)は構成機器のパワー分担をどのように設定するかによって決まる。このため、これらの機器の仕様のなかでも、とくに出力パワーをどのように決めるかが重要である。本開発では、従来ショベルの動力計測結果からシミュレーションなどを行い、各機器に必要なパワーを試算して決定した。表2に示した主要機器について概要を説明する。

### 1) エンジン

燃費を向上させるためには、エンジンの小型化が効果的である。従来40kW程度のエンジン出力が必要であったが、本システムでは一回り小さな27kWのエンジンを搭載している。発電電動機でパワーアシストすることによって、従来と同等の作業スピードおよびパワーを実現することができた。

### 2) バッテリー

ハイブリッドシステムではパワー密度の大きなバッテリーが要求される。そこで、自動車で用いられるものと同クラスのニッケル水素バッテリーを採用した。容量は、放電に関しては、エンジンアシスト時に8tクラスのショ

表2 機器スペック

Table 2 Equipment specifications

Engine	Rated power 27(kW)/1,800(min <sup>-1</sup> )
Generator motor	Rated power 10(kW)/1,800(min <sup>-1</sup> )
Swing electric motor	Rated power 8(kW)/1,890(min <sup>-1</sup> )
Battery	Rated voltage (288V)

ベルに必要な出力から決定した。充電については、旋回電動機からの最大回生パワーに基づいて決定した。

### 3) 発電電動機

発電電動機はエンジンに接続されるため、コンパクトで高効率が要求される。そこで、永久磁石式電動機を採用した。形状はへん平タイプとし、エンジンとポンプ間にビルトインされている。出力は、パワーアシスト時に従来ショベルと同等のパワーが得られることを考慮して決定した。

### 4) 旋回電動機

旋回電動機には高効率の永久磁石式電動機を採用した。インバータ制御と組合わせて旋回減速時のエネルギーの回生が可能である。出力は従来ショベルと同等の旋回加速性能が得られるように決定した。

### 5) インバータ

発電電動機用および旋回電動機用を一体化したインバータを採用した。各電動機の最大負荷を考慮し、これらを駆動するのに必要な容量からインバータ出力を決定した。

## 2.3 ハイブリッドショベルの作動

ショベルは、自動車と比較してアクチュエータ数が多いうえに動作の種類も多い。このため、これらの動作に応じてエンジンやバッテリーなどの動力源を適切に選択することが重要である。ハイブリッドショベルの動作に応じた主要構成機器の作動の様子を図6に示す。

### 1) 無負荷(図6の①)

無負荷時は、バッテリーの充電量が一定値以下の場合、エンジンで発電機を駆動してバッテリーに充電する。これにより、バッテリーの充電量をアシストに必要なレベルに保つことができ、高負荷時の作動に備える。

### 2) 重掘削(旋回動作なし 図6の②)

重掘削時はエンジンでポンプを駆動するとともに、バッテリーの電力で発電電動機を駆動してエンジンをアシストする。バッテリーの電力を利用することにより、小さいエンジンで従来機と同等の動力性能が得られる。

### 3) ブーム上げ旋回(重掘削旋回 図6の③)

旋回動作を含む重掘削時には、エンジンで油圧ポンプを駆動し、バッテリーの電力で旋回電動機を駆動する。エンジンと電動機の協調動作により、油圧系と旋回の複合動作に必要なパワーを得ることができる。

### 4) 旋回制動(図6の④)

旋回減速時は、旋回の回生電力をバッテリーに蓄えるとともに、さらに、エンジンによって駆動されている発電電動機が発電する電力もバッテリーに蓄える。これにより、従来は熱として捨てられていた旋回回生エネルギーを再利用することができる。



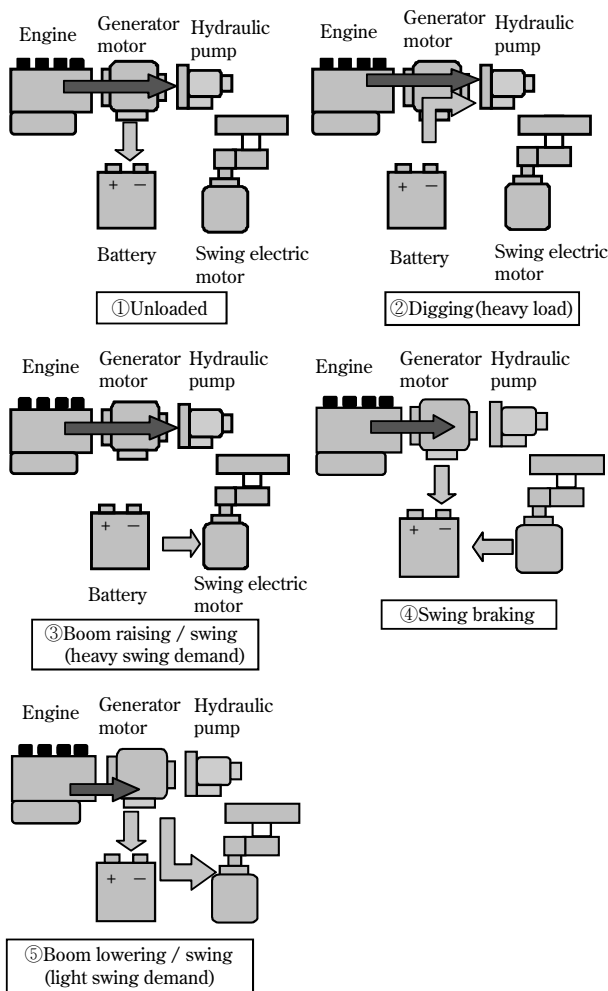


図6 ハイブリッドショベル作動  
Fig. 6 Operation of hybrid excavator

### 5) ブーム下げ旋回（軽負荷旋回図6の⑤）

油圧駆動時のエンジン余剰パワーで発電し、その電力によって旋回電動機を駆動するとともに、バッテリーにも充電する。これによってエンジンの負荷平準化が可能となることに加え、システム効率が向上する。

## 3. ハイブリッド化による効果

### 3.1 ハイブリッド動力源制御

ハイブリッドシステムは、エンジンやバッテリー、電動機などの機器で構成されている。このため、アクチュエータの負荷に応じてこれらの機器のパワーを適切に制御することが重要な課題となる。図7は実機を用いて動力源制御の試験を実施した結果である。図中の②～⑤の番

号はそれぞれ図6で示した②～⑤の動作に対応している。②③は比較的重負荷の場合であり、アクチュエータのトータルパワーがエンジンパワーを超える部分はバッテリーで駆動される発電電動機がパワーアシストを行っている。④は旋回が減速する場合であり、旋回電動機からの回生電力がバッテリーに蓄えられている。⑤はブーム下げ旋回の場合であり、エンジンパワーで旋回を駆動させると共にバッテリーにも充電されている。このように、ほぼ図6に示した動作が実現されている。またバッテリー制御では、バッテリーSOC（充電状態）およびバッテリー温度によってバッテリー充放電の最大パワーを決めている。図7の動作では、充電最大パワーは46%、放電最大パワーは48%に設定されている。バッテリーパワーは変動が大きく、過渡的な状態では充放電最大パワーを超える部分がある（図7○部）。こうした部分を除けば充放電最大パワー以下で制御されており、ハイブリッド動力源制御が狙いどおりに実現されていることがわかった。

### 3.2 燃料消費低減効果

ハイブリッド油圧ショベルの燃費評価については、社団法人日本建設機械化協会規格（JCMAS）により新基準<sup>3)</sup>が制定されている。本試験方法は、掘削・積込動作、均し動作、走行動作、およびアイドリングの各動作を総合的に評価したものである。この基準に基づき、SK80Hの燃費評価を実施した。

図8にJCMAS新基準における燃費計測結果を示す。同図では、コベルコ建機(株)の従来機の燃料消費を100%としたときの各作業時の燃料消費量を示している。掘削・積込作業の場合、40%近い燃料消費低減効果があることがわかる。同時に、CO<sub>2</sub>削減率も最大40%程度であることが確認された。

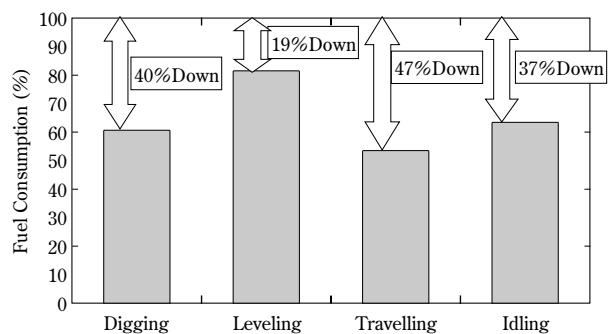


図8 燃料消費の低減  
Fig. 8 Improving of fuel consumption

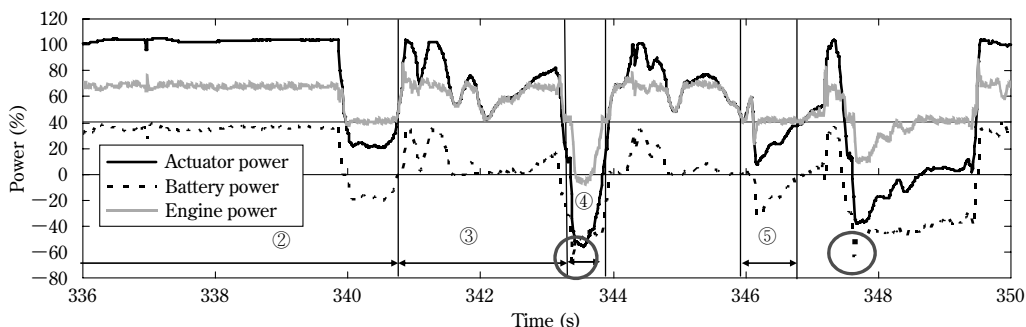


図7 動力源制御試験結果  
Fig. 7 Results of power control test



### 3.3 騒音低減効果

8tクラスのショベルは、都市における土木作業に用いられることから静粛性も重要である。そこで、ハイブリッド化による騒音低減効果を計測した。主に同クラスのショベルと比較すると、エンジンの小型化による騒音低減効果が大きい。SK80Hは、従来機に比べて特別な騒音対策を行ってはいないが、基準値よりも約3dB(A)低い90dB(A)と大幅な低騒音化を達成し、国土交通省の「超低騒音型建設機械」の認定を受けている。したがって、ハイブリッド化は騒音低減にも有効な手段であることがわかった。

**むすび**＝建設機械の省エネ化に向けた取組における量産商品化例として、8t級油圧ショベルを対象に開発した

ハイブリッドショベルSK80Hの概要を紹介した。ハイブリッド化によってエンジンを小型化でき、燃費を40%低減するとともに大幅な低騒音化を達成した。このようなハイブリッドショベルを市場へ広く普及させるためには、この燃費性能を確保しつつ、コストあるいは生産性を改善していくとともに、実稼動データをはじめとするフィールドからの情報に基づいた改良を重ねていくことが重要である。

#### 参考文献

- 1) 近藤宏一ほか. ハイブリッド車用電気式4WDシステムの開発. 自動車技術会学術講演会前刷集, 2001, No.101-01, p.13-16.
- 2) 佐々木正和ほか. キャパシタハイブリッドバスシステムの開発. 自動車技術会学術講演会前刷. 2001, No.102-01, p.9-14.
- 3) 社団法人建設機械化協会. 土木機械—エネルギー消費改善の確認試験方法 JCMAS H020:2010.

(解説)

## 低炭素型建設機械の開発

### Development Outline for Low Carbon-emitting Excavators



小林真人\*1

Masato KOBAYASHI

Low fuel consumption products are being developed in various industries, such as automobile manufacturing. Construction machines are no exception. Hybrid hydraulic excavators have already been commercialized. Low fuel consumption technologies are being applied to conventional excavators. In 2010, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) started certifying "low carbon emitting construction machines". In 2011, the MLIT established new standards for fuel consumption. With this background, the business environment is favorable for the development and wider use of low carbon-emitting construction machines. This paper outlines the development of excavators with low carbon emissions by KOBELCO CONSTRUCTION MACHINERY CO., LTD.

まえがき＝建設機械の分野においても、自動車や産業機械の分野と同様に大幅に省エネが図られた製品の開発が進められている。油圧ショベルの領域では、従来型ショベルでの省エネ性の追求に加え、ハイブリッド型や電動型（バッテリー駆動、商用電源駆動）が、また、ブルドーザでは電動駆動型がすでに商品化されている。

このような状況下、国土交通省では、前述したような建設機械であって、二酸化炭素排出量低減が相当程度図られたものに対して、平成22年度より「低炭素型建設機械」の認定を開始した。また、平成23年度には燃費基準が新たに加わるなど、低炭素型建設機械の開発促進、普及に向けた環境が整いつつある<sup>1)</sup>。

本稿では、油圧ショベルを中心に、低炭素型建設機械開発に関する当社の取組状況について紹介する。

## 1. 低炭素型建設機械

### 1.1 国土交通省による低炭素型建設機械の認定

現在国土交通省により低炭素型建設機械として認定されるのは、下記①から③の条件全てに適合しているハイブリッド建機、電動建機に限られている。条件③の燃費基準に関しては後述する。

①原動機として電動機と軽油を燃料とする内燃機関を備え、かつ、機械の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して電動機駆動用蓄電装置（以下「蓄電装置」という）に充電する機能（以下「エネルギー回生機能」という）を備えた油圧ショベルまたは蓄電装置に充電した電気エネルギーを動力として電動機を駆動（以下「バッテリー式」という）し、もしくは有線により外部から供給される電力を動力として電動機を駆動（以下「有線式」という）する油圧ショベルもしくは軽油

を燃料とする内燃機関により発電機を稼働し、発電された電気エネルギーを動力として電動機を駆動（以下「発電式」という）するブルドーザであること。

- ②定格出力が19kW以上560kW未満である軽油を燃料とする内燃機関を備えたものについては、特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（平成17年法律第51号）に基づく型式届出がなされたものであること。
- ③標準バケット山積容量が0.25m<sup>3</sup>以上1.70m<sup>3</sup>未満の油圧ショベルまたは定格出力が19kW以上300kW未満のブルドーザについては、別途規定する燃料消費量評価値算定要領により算出された燃料消費量評価値が、別途規定する燃費基準値を超えないものであること。

### 1.2 燃費測定標準

かつては、油圧ショベルをはじめとする建設機械の燃費に関しては統一的な測定標準がなく、各メーカーがそれぞれ独自の方法で燃費を計測していた。そのため、機械を使用するユーザにとっても、機械を開発するメーカーにとっても燃費を客観的に評価する共通の尺度がなかった。

そのようななか、社団法人日本建設機械化協会では、建設機械の燃料消費量の比較や、燃料消費量改善技術の確認を目的に、燃費測定標準の策定作業が行われてきた。現時点では、油圧ショベル、ホイールローダ、ブルドーザに関する測定標準が策定されている<sup>2)~4)</sup>。

また、油圧ショベルに関しては、内燃機関を動力とする標準型の機械に加え、ハイブリッドタイプや電動タイプなどに対応した測定標準が定められている<sup>2)</sup>。

油圧ショベルの燃料消費量は、掘削・積込、ならし、走行、アイドリングからなる標準作業あたりの燃料消費量で示され、2010年度の改定により、掘削・積込50%、

\*1コベルコ建機(株) 開発生産本部 技術管理部

表1 油圧ショベルの燃費基準値

Table 1 Fuel consumption standard for hydraulic excavators

Standard of bucket capacity (m <sup>3</sup> )	Standard of fuel comp. (kg/standard motion)
no smaller than 0.25, smaller than 0.36	4.3
no smaller than 0.36, smaller than 0.47	6.4
no smaller than 0.47, smaller than 0.55	6.9
no smaller than 0.55, smaller than 0.70	9.2
no smaller than 0.70, smaller than 0.90	10.8
no smaller than 0.90, smaller than 1.05	13.9
no smaller than 1.05, smaller than 1.30	13.9
no smaller than 1.30, smaller than 1.70	19.9

ならし10%、走行10%、アイドリング30%の動作割合で算定されることになった。

なお、実際の作業条件は様々であり、上述の方法で全ての作業に対する燃費を評価できるわけではないが、機械が持っている燃費性能はおおむね反映できると考えられている。

### 1.3 燃費基準

前節に示した油圧ショベルの燃費測定標準に基づいて第3次排ガス規制対応機の燃費測定が実施され、バケット容量ごとのトップランナ値が、2020年度基準値として定められた<sup>1), 5)</sup>(表1)。基準達成率100%以上の場合には☆☆で、100~85%の場合には☆☆で、85%未満の場合には☆で表示される。現時点でも燃費の数値をカタログに記載表示することは可能で、今後、カタログに燃費数値や☆数を表示可能な時期を経て、2014年排ガス規制車を対象に国土交通省の認定制度が発足する予定になっている<sup>1)</sup>。

### 1.4 普及助成制度

燃費測定標準の整備、燃費基準値の制定に連動する形で、低炭素型建設機械を中心に各種普及助成制度が整ってきている。その一例として、環境省による「先進的次世代車普及促進事業（ハイブリッドオフロード車導入事業分）」について簡単に紹介する。

本制度は平成23年度に導入されたもので、建設機械で対象となるのは国土交通省の低炭素型建設機械の要件を満たすハイブリッド油圧ショベルのみである。助成制度の内容は、ハイブリッド車と通常型の油圧ショベルの本体価格の差額の二分之一（上限150万円）が購入者に補助されるものである。自動車と比べ生産台数の少ない建設機械分野において、低炭素型建設機械の普及促進の一助になると期待されている。

## 2. 当社の取組状況

上述のような環境下、コベルコ建機(株)（以下、当社という）は環境性能に優れた油圧ショベルの開発を続けてきた。以下、その代表例について紹介する。

### 2.1 ハイブリッド油圧ショベルの開発

我が国の温室効果ガス排出量の約1%が建設機械の燃料消費量によるもので、そのうち、油圧ショベルが約半分を占めている。その削減対策の手段として注目されるものの一つが、建設機械の省エネ化を目的とするハイブリッドシステムである。当社は、1999年より、新エネ

ギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの受託研究および共同研究の形で、(株)神戸製鋼所と共同でハイブリッドシステムの開発を手がけてきた<sup>6)~8)</sup>。

当初のシステムは、省エネ効果の最大化を狙ったシリーズハイブリッドで、8tクラスの油圧ショベルで従来機比50%以上の燃費改善を実現した<sup>7), 8)</sup>。

本成果を基に当社独自で商品化検討を行い、2006年4月にパリで開催された国際建機展（INTERMAT2006）で、世界初となるシリーズパラレルタイプのハイブリッド油圧ショベルSK80Hの実機展示を行った<sup>9)</sup>(図1)。

本機は、エンジンの小型化、発電電動機・バッテリー搭載、旋回の電動化などにより、従来機に比べ平均40%（当社測定基準による）の省エネ化を実現した。ちょうど原油高騰の時期とも重なり、国内外の注目を大いに集めた。さらにこの機械に改良を加え、2009年末にSK80H-2を上市した<sup>10), 11)</sup>(図2)。本機械は、SK80Hとほぼ同様のシステム構成で、ハイブリッド自動車採用されているものと同クラスのニッケル水素バッテリーを搭載している。前述したJCMASの基準で約40%の燃費改善が確認されている。また、エンジンの小型化、エンジン回転変動の少ない機械特性から、騒音面では国土交通省の超低騒音レベル(93dB)を3dB下回る90dBを実現し、燃費性能と併せて環境性能の高い機械に仕上がっている。

本機械は平成22年度より認定が開始された国土交通省の「低炭素型建設機械」の第1号機として認定を受けた。また、2010年度の地球温暖化防止活動に関する環境大臣



図1 INTERMAT2006パリ建機展に出展した世界初のハイブリッド油圧ショベルSK80H

Fig. 1 First hybrid hydraulic excavator SK80H exhibited in INTERMAT2006 Paris



図2 ハイブリッド油圧ショベルSK80H-2

Fig. 2 Hybrid hydraulic excavator SK80H-2



賞を受賞するとともに、2011年11月には、ハイブリッド制御に関する基本特許で、中国地方発明表彰の文部科学大臣奨励賞を受賞した。

なお、ハイブリッドショベル普及の最大の課題は機器コストである。ハイブリッド化のために追加搭載される機器の多くは建機固有になること、市場規模が自動車に比べ格段に小さいことなどから、省エネ化によるメリットがコストアップ分をカバーできるようになるにはまだまだ時間がかかると思われ、普及が進まない大きな要因となっている。

## 2.2 アセラ・ジオスペックシリーズの開発

当社では、2.1で紹介したハイブリッド油圧ショベルと並行して、排ガス3次規制に対応したアセラ・ジオスペックシリーズの開発を進めた。

ハイブリッド油圧ショベルの開発は、当社にとっても当時の建機業界にとってもほぼ初めての試みであった。そこで当社は、ハイブリッドシステムの検証と省エネ性能の実現に向けて、モデルベースでショベル全体のシステム検証・燃費予測を可能とするシミュレーション技術の開発に取り組んだ<sup>6)</sup>。

本技術の実現により、ハイブリッドショベルのみならず標準型の油圧ショベルの各種性能予測がシミュレーション（HILS含む）で可能になった<sup>10)~12)</sup>。

HILSやシミュレーションの活用のメリットは以下の通りである。

- ・実機を作らずに性能予測ができる。すなわち、モデルベースで事前検証が可能になり、出図前に性能を確保できる。
- ・実機での燃費測定に比べばらつきが格段に少ない。とくにHILSを活用した場合は、実機確認では測定ばらつきのなかに埋没してしまいかねない効果も精度よく評価可能で、燃費改善案の取捨選択が適切に行える。
- ・機器サプライヤとの共同開発の場面でも各パラメータごとに定量的な議論が可能になり、開発のスピードアップにつながる。

当社は上記シミュレーション結果をベースに機種開発を進め、2006年4月より順次上市を行ったアセラ・ジオスペックシリーズ（図3）では、新型エンジンの搭載、徹底した損失低減、機械トータルでの制御の見直しなどにより、20tクラス以上の主要機種でおおむね20%の燃費低減（JCMAS基準ならびに当社基準）を実現することができた<sup>13)</sup>（表2）。

ユーザが油圧ショベルに求める特性は様々であるが、こと省エネ性は全てのユーザ、全ての市場の求めるところであり、上市以来世界中のユーザにご愛顧いただいて



図3 アセラ・ジオスペックシリーズ（20～45tクラス）  
Fig. 3 ACERA Geospec series (20-45t class)

表2 アセラ・ジオスペックシリーズの燃費性能  
Table 2 Fuel consumption performance of ACERA Geospec series

model	mode	Standard of fuel comp. (kg/standard motion)	Top runner
SK200-8	S	9.5	10.8
SK225SR	H	10.8	
SK235SR	H	10.8	
SK135SR	S	7.0	6.9
	H	7.3	
SK70SR	S	4.0	4.3
	H	4.3	
SK250-8	S	11.9	13.9
	H	13.9	
SK350-8	S	18.3	19.9
	H	20.0	

いる。また、国土交通省が定めた2020年燃費基準に対してもほとんどの機種でトップレベルの位置づけになっている（表2）。

今後もこれらの基準値を目標にさらなる改善を継続していくつもりである。

## 2.3 オート・アイドリング・ストップ

当社の油圧ショベルに2003年より搭載されているオートアイドリングストップ機能(AIS)について紹介する。

油圧ショベルは土木工事や建築工事などの様々な現場で使用されているが、作業工程上、作業をしない待機状態がどうしても生じる。この待機時にオペレータの誤動作を防ぐために油圧システム遮断レバー機能が運転席に設けられている。油圧システム遮断レバーを上げることにより、不用意なレバー操作を行ってもアタッチメント、走行や旋回などの操作が行えない機能となっている。

ただ、従来機では油圧システム遮断レバーを上げてエンジンも起動したままであり、エンジン回転数を下げたりエンジンを停止させたりするのはオペレータの任意であった。当社では、油圧システム遮断レバーと連動したAIS機能を開発した<sup>14)</sup>。

AISは、作業をしていないときに自動的にエンジンを停止して無駄な燃料の消費を防ぐ機能で、

- ・CO<sub>2</sub>排出量を削減し、大気汚染の抑制や環境負荷軽減に貢献
- ・燃料消費量が低減し、燃料費の低減および省資源が図られる
- ・エンジン切忘れ時に警報音で注意を促すなどの機能を有している。

AISの作動原理を図4に示す。作動時間は機種によ

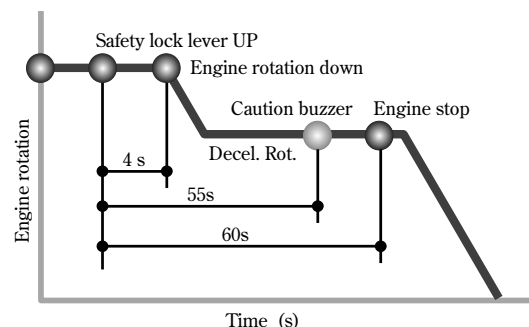


図4 オートアイドリングストップ機構  
Fig. 4 Auto idling stop mechanism

て異なり、また、機能は必要に応じて解除することができるようになっている。

AIS機能による効果を実測した例では、現場や作業機のクラスによって違いがあるものの、20%前後の燃費削減が確認されている<sup>14)</sup>。

**むすび**＝地球温暖化防止に向けた全世界的な動き、また、日本では昨年3月に発生した東日本大震災と原発事故の影響で省エネに関する関心と要求がさらに切実さを増している。建設機械は今後、成長国・新興国市場を中心にインフラ整備をはじめ多くの用途で活用されると思われる。当社は、本文で述べたように、ハイブリッド型の油圧ショベル開発の先駆けになるとともに、従来型の油圧ショベルにおいても省エネ性能の向上に努めてきた。今後も、省エネ性能に優れた油圧ショベルを全世界の市場・お客様に提供することを通して地球温暖化防止に少しでも寄与していきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 前羽利治. 建設機械施工における地球温暖化対策. 日刊建設, 11-10 (2011), p.39-40.
- 2) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－油圧ショベル JCMAS H020:2010.

- 3) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－ブルドーザ JCMAS H021:2010.
- 4) 社団法人建設機械化協会, 土木機械－エネルギー消費量試験方法－ホイールローダ JCMAS H022:2010.
- 5) 国土交通省, 低炭素型建設機械の認定に関する規程. [http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15\\_hh\\_000050.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000050.html) (参照 2011-04-01).
- 6) 南條孝夫ほか. ハイブリッドショベル省エネ化のための動力シミュレーション. 自動車技術会論文集, 35-4(2004), p.101.
- 7) 鹿兒島昌之. 油圧ショベルのハイブリッド化とその効果. 建設の施工企画, 665(2005), p.37.
- 8) 鹿兒島昌之. ハイブリッドショベルの開発. 建設機械, 42-5(2006), p.41.
- 9) 鹿兒島昌之ほか. ハイブリッドショベルの開発. R&D神戸製鋼技報. 2007. Vol.57, No.1, p.66-69.
- 10) 小林真人ほか. 油圧ショベル用ハイブリッドシステムの開発. 自動車技術会シンポジウム前刷集, 2012, p.32-35.
- 11) 南條孝夫ほか. 油圧ショベルの動力解析と省エネ技術. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.48-51.
- 12) 大谷和弘ほか. 油圧ショベルの動力系開発プロセスの構築. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.52-57.
- 13) 南條孝夫ほか. 油圧ショベルにおける低燃費性能開発. 平成21年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集. 2009, p.67-72.
- 14) 絹川秀樹. 環境負荷低減ショベルAcera Geospecシリーズ. 建設機械563, 2012, Vol.48, No.1, p.48-51.



(論文)

# プレスシミュレーションを活用した油圧ショベルのガード部品開発効率化

## Efficient Production of Guard Components in Hydraulic Excavators Using Press-forming Simulation



崎谷慎太郎\*1  
Shintaro SAKITANI

A press-forming simulation was used for the production of guard components in hydraulic excavators. As a result, wrinkles and cracks are efficiently prevented during the press-forming process by optimizing the processes and materials with the aid of the simulation. The computer-aided-design has changed the trial-and-error production method of the past and significantly decreased the period necessary for development.

まえがき＝約20年前の油圧ショベルのボンネットやサイドパネルに使用される外観部品は、薄鋼板を折曲げた程度のものであった(図1)。その後、市場が拡大するなかで商品の差別化などを進める目的から、外観に3次元曲面を多用する商品(アセラ・スーパー・バージョン)を送り出した。油圧ショベルとしては先進的なデザインとして受止められ、グッドデザインを受賞するに到った。しかしながらその一方で、生産面においてはプレス技術が十分でなく、プレス部品を作るまでには設計から生産するまでに多くの修正や手戻りが発生していた。

1990年代後半には、現場となる地域周辺の都市化が進み、従来のような上部旋回体の作業専有面積が広いタイプから、狭所作業性に優れる油圧ショベルへのニーズが高まっていった。こうしたなかで業界各社は、小旋回機の品ぞろえの拡充を図っていた。コベルコ建機(以下、当社という)も、作業能力と運転空間を従来機と同等にした後方小旋回機を市場に送り出した。他社もこの後方小旋回機の品ぞろえを進め、中型クラスでは主力の商品となった。

この後方小旋回機は、従来の通常型と比べると外観にはほとんど平面がなく、3次元曲面のプレス成形や樹脂成形品で構成されていたことが特徴である。この後方小旋回機の出現によって、外観部品の3次元化が一気に進んだ。(図2)

3次元曲面を持つ部品は、当初、樹脂成形されることが多かったが、塗装色への対応と塗装耐久品質の確保が難しかった。また、剛性の確保の点では、従来から使用している鋼板の方が有利であり、また、現場での補修にも優れる点から薄鋼板を使ったプレス成形品が主流となっていった。しかしながら、プレス部品の開発では成形

過程での割れやしわなどの予測が困難であったことから試行錯誤で開発することが多く、時間と労力を費やしていた。

そこで、プレス部品の開発にプレス成形シミュレーションを活用して開発の効率化を図るとともに、開発フローを変革する活動を進めた。以下にその概要を報告する。



図1 油圧ショベル「アセラ」  
Fig. 1 Hydraulic excavator "ACERA"



図2 コベルコ「SK235SR-2」  
Fig. 2 KOBELCO "SK235SR-2"

\*1コベルコ建機(株) グローバルエンジニアリングセンター 生産設計部

## 1. 従来の開発設計工程の状況

アセラを設計した約20年前は3次元CADそのものが珍しく、当時の設計の主流は2次元CADであった。しかしながら、航空・自動車産業の分野において3次元CADの普及が進み始め、建設機械分野にも徐々に浸透を見せ始めた。そうしたなかでも、プレス部品の設計は依然として従来の2次元CADが中心であり、2次元では表現し切れない3次元曲面部分のみを対象とする3次元CADに取り組み始めた程度であった。

一方、金型設計から部品の完成までのものづくりの段階でも、基礎的なプレス成形理論をもとにした設計や製作作業は進められていた。しかしながら、成形性を事前に定量的・視覚的に評価することは難しく、いわゆる「経験」と「ノウハウ」で決められる部分も多く存在していた。すなわち、試作金型による部品の試作を繰返し、しわや割れが発生しないことが確認されるまで量産金型や図面へのフィードバックを行っていた(図3)。なかには、たび重なる修正を試みるも、最終的に量産プレス成形が実用できず、設計の上流段階までさかのぼって設計を見直し、金型を改めて製作し直す事例もあり、時間と費用がかかっていた。

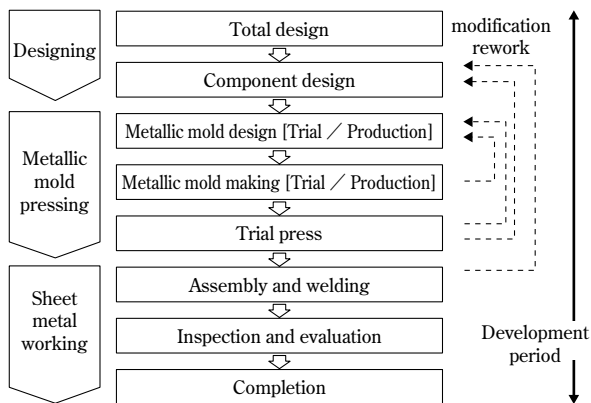


図3 プレス部品の設計・生産工程

Fig. 3 Process of development and production for stamping

## 2. 成形性の基礎理論からシミュレーションへ

自動車業界を中心に成形性の研究が急テンポで進んだ1960年代、経験技術的な側面が強い成形技術の体系化が試みられるようになった。例えば、1965年にKeelerによって提案された成形(変形)限界線図FLC<sup>1)</sup>は、成形難易度評価の手段として広く知られている。

バブル経済の崩壊後、生産プロセスの効率化やコストダウンが大きな課題となったことを契機にプレス成形技術が見直しされ、FEMを用いた成形シミュレーションの開発が進んだ。

2000年代に入ると、3次元CADの性能は飛躍的に向上して3次元設計が日常のものとなったと同時に、FEMによる成形シミュレーションの活用が一気に加速した。近年は、低燃費・軽量化を目指したさらに難易度の高い高張力鋼板のプレス成形にシミュレーションが活用されるなど、その広がりを見せている。

## 3. プレス成形シミュレーションの解析プロセス

プレス成形シミュレーションは現在、PAM-STAMPを用いて行っている。シミュレーションの手順としてはまず、各種材料のヤング率、ポアソン比、比重、塑性ひずみ値( $r$ 値)、真応力ひずみ線図に必要な $n$ 値などを実際の材料から収集して入力する。つぎに、製品の3次元CADデータを基にした成形プレス状態での形状作成と金型構成部品の定義、プレスのストローク量、プレス速度、クッション圧などの成形条件の入力を行えば完了である。材料特性値を一度データベース化しておけば、様々な条件に対して結果が得られる(図4)。

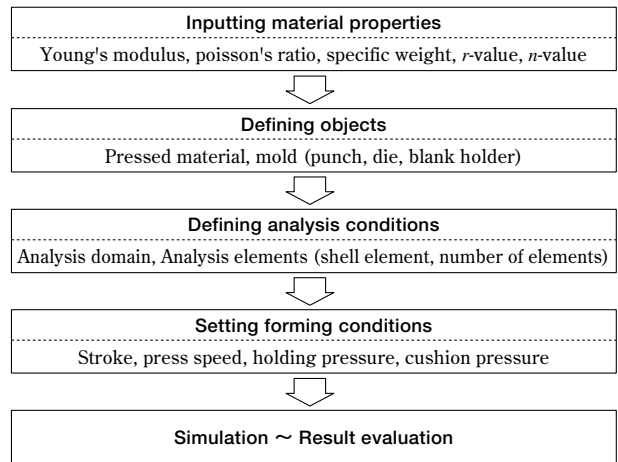


図4 成形シミュレーションの流れ  
Fig. 4 Process of stamping simulation

## 4. プレス成形シミュレーションの導入

### 4.1 ドロー成形への適用

本格的にプレス成形シミュレーションを導入したのは、SK235SR-2の開発からである。プレス金型メーカーや薄板板金メーカーと協力して実運用に向けての準備を開始した。各種の材料物性値の収集やアプリケーションの操作の習熟など、必要とされる取組を進めた。一方、シミュレーションの運用とその結果の評価については、慎重な検証作業を平行しながら実際の開発に運用に入っていた。

初めの実運用はダクト部品(図5)である。本部品のプレス成形方法は一般的なドロー成形を採用した。図5は、金型が仕上がって初めて成形トライを行ったときの様子である。左に実際のプレス成形の段階的な写真、右にシミュレーションでの同じ段階の図を並べて掲載している。実際のプレス成形とシミュレーション結果には予想以上に相似性がある結果となった。

このプレス成形では、事前に数回のシミュレーションを行って材料を選定した。

まず、材料選定においては、材料物性値により成形できる限界が異なる。この材料物性値と成形との関連付けを行ったものが成形限界線図FLC<sup>1)</sup>(図6)である。今回のプレス成形シミュレーションでもこの線図に則り、適用する材料を検討した。図7はシミュレーション結果の

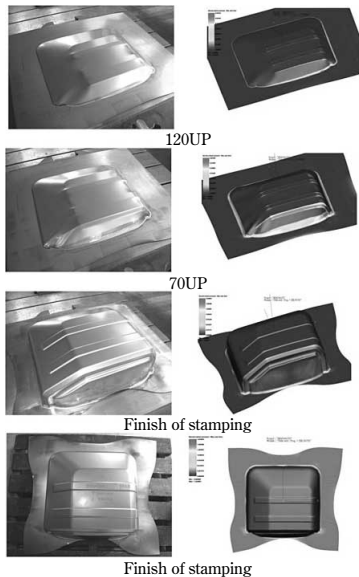


図5 ドロー成形  
Fig. 5 Draw forming

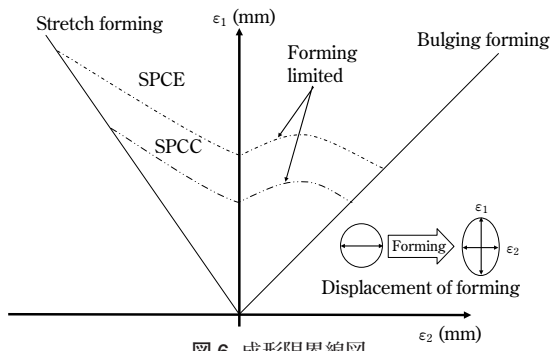


図6 成形限界線図  
Fig. 6 Forming limited curve

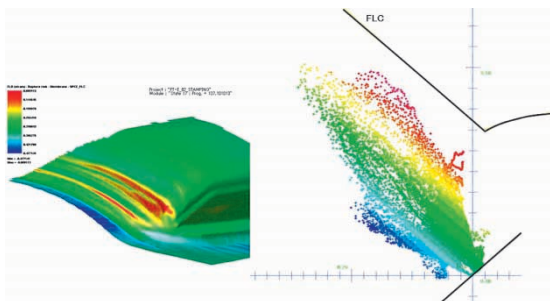


図7 シミュレーションでのFLC適用例  
Fig. 7 Application example of simulation for FLC

一例である。

今回のダクトの材質は、入手性とコスト制約から、SPCD材とSPCE材が候補に残ったが、シミュレーション結果で成形限界線内に何とか収まるSPCE材を選んだ。結果は、図5に示したように割れや破断などなく、非常に良好なものであったが、成形の際にショックラインが製品形状内に流入してしまう不具合が発生した。ショックラインは、材料に初めて金型壁面のR部分が当たるため起こる傷であり、外観上好ましくない。このため、ショックラインの位置をコントロールするために、材料を保持するロックビードの位置をプレスシミュレーションにより検討し、再成形を行った。その結果が図8に示す状態であり、精度の高い結果が得られるとともに、不具合の解消を行うことができた。

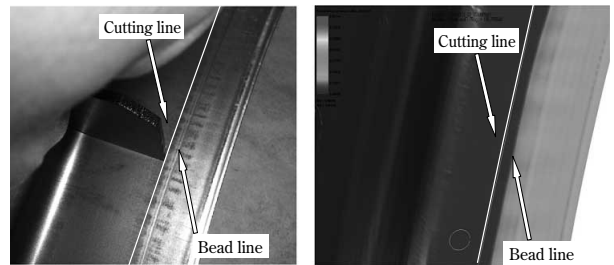


図8 ショックラインの比較  
Fig. 8 Comparison of shock line

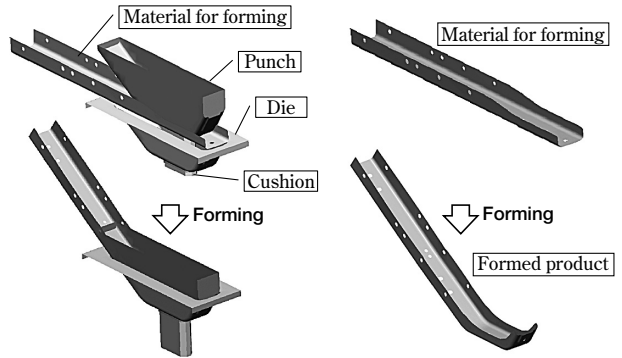


図9 フォーム型構成と製品  
Fig. 9 Component of forming die and product

#### 4.2 フォーム成形への適用

このプレス成形シミュレーションをフォーム成形に適用できないか、さらに検討を進めた。背景は、ドロー成形に比べてフォーム成形では工程数が少なく、また、金型構造も簡易で安価であるためである。ドロー成形と比べると、フォーム成形はブランクホルダと呼ばれる型部材がなく、複雑な成形は難しい方法である。

コの字部材をフォーム成形にて長手方向に曲げる製品の開発にシミュレーションを活用した。その形状と簡単な型構造を図9に示す。実際の成形とシミュレーションとの相似性は、図10に示すように、比較的容易に確認できた。しかし、しわが残ったため、製品としては使い物にならない結果となった。すなわち、コの字断面の部材をフォーム成形にて長手方向へ曲げるため、図10に見られるように、長手方向の曲げ部分の側面の2箇所やしわは何とか解消できるものの、先端部分に板厚の増大によるしわの発生が課題として残った。

そこで、シミュレーションを活用し、成形過程を順に追ってしわが発生する原因を推察した(図11)。成形初期では、長手方向の曲げを行う段階で側面にしわが発生する。成形中期では、材料の逃げ場がないために側面のしわが先端に移動し、先端がねじれる。そして成形後期では、先端部が座屈してさらに押し潰されて成形が完了する、と推察できる。

その様子を、シミュレーションによってさらに細かく確認した結果を図12(図11のView Iの矢視図)に記す。形状や変形は左右対象としたため、右半分を示した。また、プレス完了段階では、板厚分布を表示しており、材料が中央部分に集まってしわが形成される様子が見られる。

この結果を基に検討を重ね、成形初期に起こる側面の変形を広い範囲で強制し、先端部への材料流入を緩和す



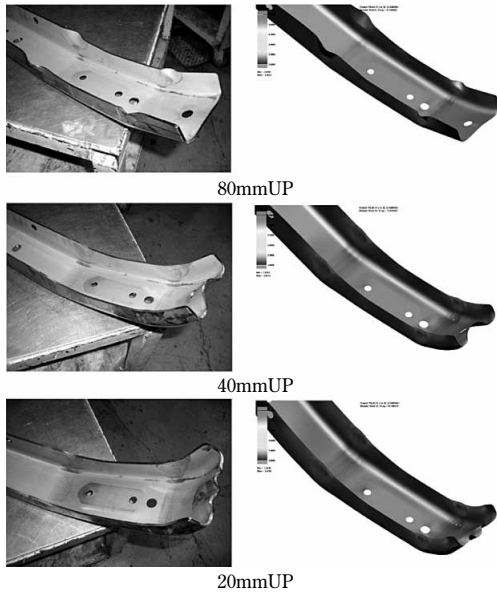


図10 シミュレーションと実フォーム成形の比較  
Fig.10 Comparison of simulation with actual forming

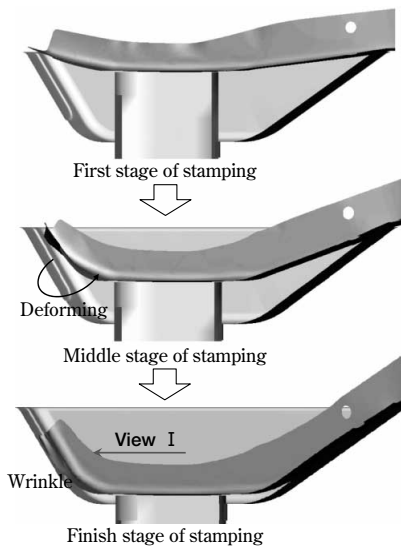


図11 フォーム成形過程  
Fig.11 Process of forming stamping

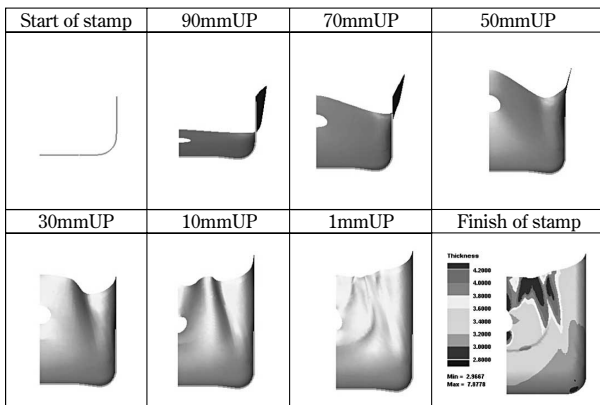


図12 View Iでのシミュレーション過程  
Fig.12 Process of simulation of forming on view I

る方法を検討した。具体的には、プレス側面の高さを上げ、その断面をテーパ状とする案(図13)をシミュレーションした結果、板厚3.2mmに対して、余肉部の板厚最大値は7.8mmから4.3mmに減少し、3.8mmを超える板厚

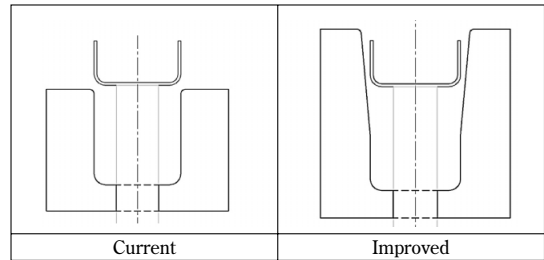


図13 対策金型断面形状  
Fig.13 Measurement section shape of die

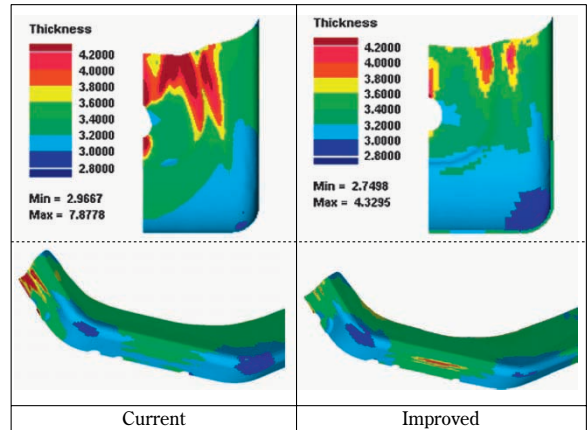


図14 板厚分布のコンター図  
Fig.14 Contour of thickness distribution

の面積も表面積全体の0.76%から0.08%減少した。

部材全体を見ても、板厚の厚くなる部分が先端部に集中する様子はない(図14)。実際の成形においてプレス断面をテーパ状にして検証した結果、先端部のしわは発生せず、外観上全く問題ないレベルに仕上がった。

## 5. プレス成形シミュレーションの導入による効果

シミュレーション導入後、開発プロセスが変革した。金型完成までの期間は、シミュレーション検討のため2週間程度伸びた反面、従来、金型が完成してから1~2箇月程度かかっていた手戻り期間が数週間単位に短縮された。また、シミュレーションで得たデータと従来の「経験」部分と照らし合わせるにより、成形に関する「見える化」が進んでいる。さらに、事前検討が難しかった材質やサイズの適正化、金型サイズや構成の検討を各サプライヤーとコンカレントに行い、製品と金型に要するコストを圧縮できるようになった。

むすび=新興国で生産される油圧ショベルが増大し、コスト競争力が必要とされる昨今、コストダウン・開発期間短縮への要求は高い。こうしたなか、プレス成形シミュレーションを導入することにより、従来の試行錯誤でのプレス部品開発から脱却して事前検討が行えるようになった。これからも、建機のものづくりに適した開発や手法を探求していきたい。

## 参考文献

- 1) 薄鋼板成形技術研究会. プレス成形難易ハンドブック, 第2版, 日刊工業新聞社, 1997, p.1-41.



(論文)

# iNDR冷却システム搭載極低騒音型油圧ショベル

## Ultra-low-noise Hydraulic Excavators Using Newly-developed iNDR Cooling System



中島 一\*1  
Hajime NAKASHIMA



上田員弘\*1  
Kazuhiro UEDA



土橋知之\*1  
Tomoyuki TSUCHIHASHI



木村康正\*2  
Yasumasa KIMURA



山口善三\*2  
Zenzo YAMAGUCHI

Reducing the noise from construction machinery is important in creating a comfortable environment for residents near construction sites and for operators and workers as well, particularly in the present situation with the number of construction projects increasing in urban areas and at night. This article describes a newly-developed ultra-quiet hydraulic excavator that incorporates a patent-pending integrated Noise and Dust reduction (iNDR) cooling system. The power level of the sound from the excavator is 5dB lower than the most stringent restriction level set by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan. The excavator has been released as one of our general purpose models.

まえがき＝建設機械の騒音低減に対する要求は、都市部や夜間での工事の増加も含め、稼働現場周辺の住民やオペレータへの環境改善の観点から、近年ますます強まってきており、建設機械メーカーにとって重要な課題となっている。

これに伴い騒音に関する法規制も年々整備強化されてきている。国内においては国土交通省が建設機械に対する低騒音型建設機械の型式指定制度を設け、低騒音型とさらに6 dB低い超低騒音型建設機械の判定基準を設定している。一方、欧州においてはEUの定める騒音規制値を超える機械の流通制限が行われており、規制値も年々厳しくなっている。また、2012年より中国でも騒音規制が開始される。

図1に油圧ショベルに対する国内の騒音基準値とEUの騒音規制値を示す。騒音の評価は、機械の音源から放射される全音響エネルギーを示す音響パワーレベル(PWL)で基準化されている。両方の規制をクリアするため、最近では機械の騒音レベルの低減が進んでおり、超低騒音型建設機械の指定が増加傾向にある。今後ますます低騒音化への拍車がかかるものと予想される。

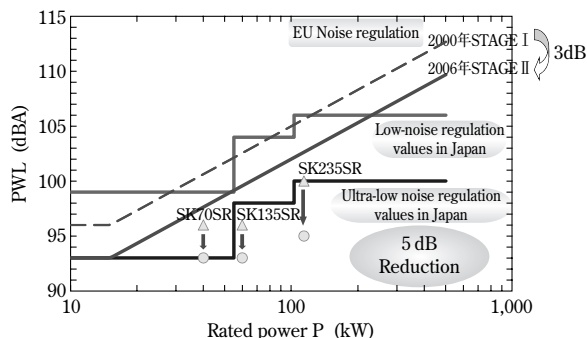


図1 騒音規制値と新型シリーズの騒音レベル  
Fig. 1 Noise level of new SR series and noise regulations

騒音レベルの低減だけでなく、音質への配慮も重要である。音は受け手により、また時と場合により感じ方が大きく異なる。建設機械の音は、周辺住民にとっては環境悪化の元凶であるが、運転者にとっては機械の動きの状況を伝える情報源となる場合もある。周辺の住民に対して不快感を与えず、かつ運転者や周囲の作業者が安全で効率よく作業ができ、疲れにくい音環境への配慮が重要となっていく。

今回、最も厳しい国土交通省の超低騒音型基準値をさらに5 dB低減した極低騒音の都市型油圧ショベル汎用機種種のACERA Geospec SRシリーズを開発し、他社製品との差別化を達成した。

本機種では、喧騒感の改善に大きく寄与する騒音レベルの低減と、それに伴う音質の悪化に対して不快感の小さい音質を追求する両方のアプローチを採用した。ここではその改善事例としてiNDR (Integrate Noise & Dust Reduction Cooling System) の開発内容を紹介する。

### 1. 油圧ショベルの音源と特徴

油圧ショベルの構造と主要音源を図2に示す。油圧ショベルは、ディーゼルエンジンで油圧ポンプを駆動して、圧油をコントロールバルブを経由して各油圧シリンダおよびモータへ送って動作させる。エンジン、ファン、油圧ポンプ、およびエアクリーナはエンクロージャ内に配置され、その開口部より音が放射される。音源を閉じ込める囲いをここではエンクロージャとする。

主要な音源としては、ファン音、エンジン機関音、エンジン吸排気音、油圧ポンプやコントロール弁などの油圧機器音、そして旋回歯車音、履帯(キャタピラ)音、作業時の打撃音とがた音があげられる。寄与度の大きさは、ショベルのクラスや作業状況により異なるが、一例

\*1コベルコ建機(株) 開発生産本部 要素開発部 \*2(株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所

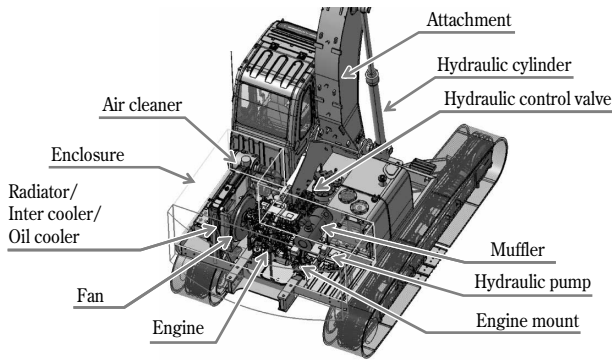


図2 油圧ショベルの主要騒音源  
Fig. 2 Main noise sources of hydraulic excavators

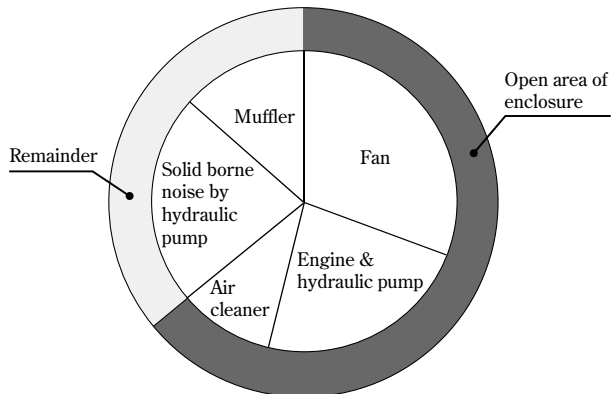


図3 油圧ショベルの音源寄与度の例  
Fig. 3 Ratio of measured sound power of main sources

として図3に中型油圧ショベル作業時の音源寄与度の例を示す。図中の5種類に分けた音源について、個別遮音により各寄与度が求められている。内側の円グラフは各音源寄与度のエネルギー比を示し、外側の円グラフはエンクロージャ開口部とそれ以外からの寄与度比率を示す。

自動車と異なり、油圧ショベルは走行風のない定置作業である上にエンジン負荷率が高い。このため、冷却ファンを高速回転せざるを得ず、ファンは大きな音源となる。作業時には、動力源に高負荷がかかってエンジン機関音と油圧音が急激に大きくなり、レベル変動を増幅して音質に悪影響を与える。油圧固体伝播（でんぱ）音は、油圧脈動振動が伝播してフレームやアタッチメントなどから放射される音で、エンクロージャ以外から発生する。

エンジンと油圧ポンプから発生する音は、吸音材を内張りしたエンクロージャの中に収められて吸・遮音されるが、冷却風の通路である開口部より放射される。開口部からの漏れ音低減とヒートバランス成立のための通風量確保との二律背反が重要な設計課題となる。

## 2. 極低騒音化とiNDRの開発

### 2.1 開発の狙い

図4左図に示したように、環境騒音公害の調査結果<sup>1)</sup>では建設作業騒音の苦情は工場騒音に次いで多い第2位であり、また、都市部に集中している（図4右図）。都市部での建設工事の特徴は工事現場が狭く、周囲に対する作業制限が多いことがあげられる。さらに、安全性、周

囲への配慮が求められ、コンパクトで静かな機械が必要となる。

そこで検討の結果、従来機に対して下記の改善目標を設定した。

①違いが明らかに分かる静かさ

周囲環境の保護：規制値パワーレベルを5 dB低減

②機側騒音の低減

運転席側の最もうるさい点を10dB低減

これにより、夜間工事や病院などでも安心して工事ができる。また、作業中の作業員間での良好なコミュニケーションを図ることができ、安全に作業を進めることができる。

### 2.2 iNDRの構造

前述の最も寄与度の高いエンクロージャ開口部騒音を大幅に低減するための対策が必要である。

エンクロージャ内の冷却風量を確保しながら音の放射を抑える構造を設計検討した。これにより防音性能が大幅に向上する効果が得られた。また、この構造を利用してダクト通路内に防塵フィルタを設けることにより、今まで建設機械として大きな問題であったラジエータやオイルクーラなど熱交換器の清掃性も大幅に改善した。そのiNDR構造を図5に示す。また従来型との対比を図6に示す。

本構造における設計ポイントは以下の5点である。

①隙間を徹底的に塞ぎ、エンジンルームへの空気の入力、および排出の開口を集中させる。

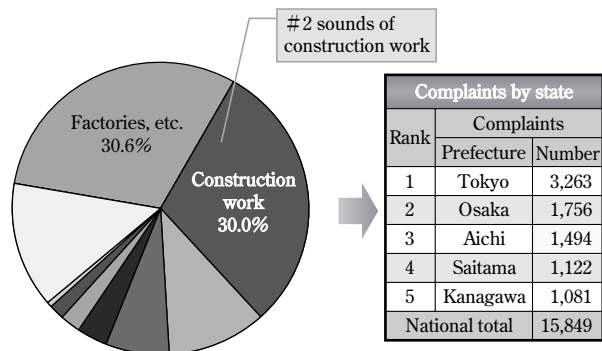


図4 環境騒音公害の現状  
Fig. 4 Status of environmental noise pollution

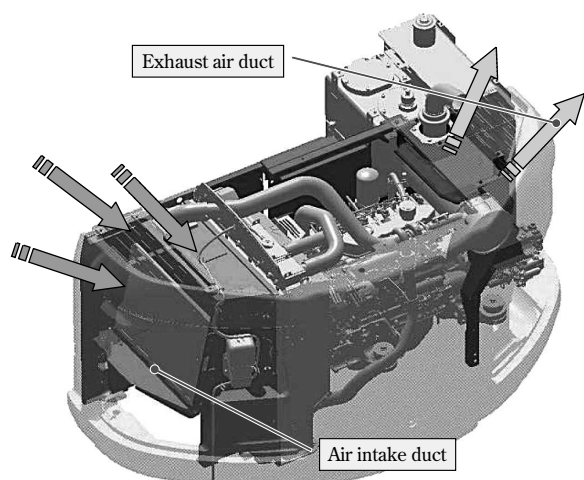


図5 iNDR構造  
Fig. 5 iNDR structure

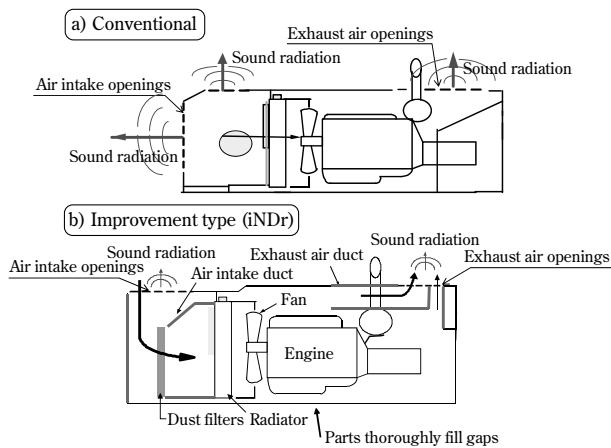


図6 iNDR構造 (従来型との対比)

Fig. 6 Comparison of conventional type and improvement type (iNDR)

- ②従来型では開口部から音源が直視できるため消音効果が十分得られない。改善型は開口部をオフセット吸音ダクト構造にして放射音を大幅に低減させる。
- ③機械のすぐ横での騒音や排風に配慮して、開口部は基本的に上面に限定する。
- ④吸音材により、エンクロージャ内の吸音性能を向上させる。
- ⑤ラジエータ前ダクト部に防塵フィルタを設置して、ワンタッチで脱着できる構造とする。

とくに吸気ダクト部は、通風抵抗と減音量のトレードオフの関係にあることから、通路における開口部と冷却ファンのオフセット量を解析およびベンチ試験での検討により最適化した。

周辺特許も含め、合計8件の特許を出願した。

## 2.3 解析および実験方法

### 2.3.1 エンジンエンクロージャの防音性能実験手法

前述のとおり、開口部からの漏れ音低減と通風量確保が二律背反することが設計課題となっており、エンクロージャの防音構造の検討が必要となる。これには数値シミュレーションに加えて実機サイズの実験が有効な場合も多く、改造が容易なモックアップ模型装置の導入によって開発効率を向上させることができた<sup>2)</sup>。図7にエンクロージャを模擬した実験装置の概略を示す。

主音源のファンはエンジンの代用として電動機によって駆動させ、エンジン音はエンジン近接に設置した超薄型平面スピーカから発生させるものである。音の評価は、ISO6395が規定する建設機械より放射される外部騒音の測定方法に基づき、半球面上の6点の騒音計測値より算出される音響パワーレベルとラジエータなど熱交換器の通過風量を同時に計測して行う。

実機と同模擬装置との音響パワーレベルの1/3オクターブ周波数特性比較(図8)に示すとおり、両者はほぼ良好な一致を示しており、事前予測手法としての有効性が確認されている。

1/3オクターブバンド周波数分析は、音響信号の分析としては最も一般的な方法であり、耳の周波数分解能の特性に合わせて対数的にバンドフィルタを設定したものである。

### 2.3.2 流体解析による冷却風量の推定

コンピュータの高速化と併せて解析手法も進化している。これまでは数箇月かかっていた流体解析がエンジンルームを丸ごとモデル化した場合でも約2週間で結果を出せるようになり、機種開発での適用が可能となった。図9に格子ボルツマン法によるエンジンルーム内の冷却風流れ解析の結果を示す。格子ボルツマン法とは、有限個の速度をもつ多数の仮想粒子の集合体として流体を近似し、各粒子の衝突と並進の運動を格子ボルツマン方程式を用いて速度分布関数を計算し、流れ場の流速、圧力などを求める数値計算法である。従来のナビエ・ストークスの数値計算法に比べ、大規模なモデルの計算速度に優れており、また実形状を簡素化することなくそのまま

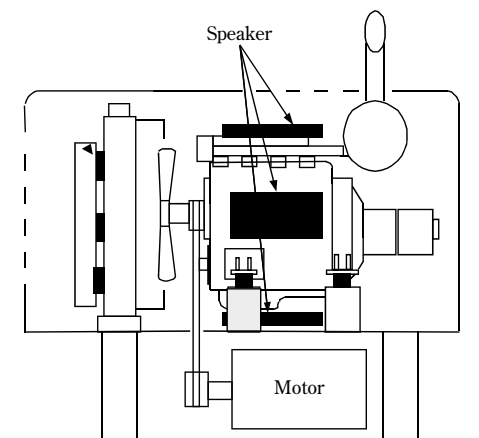


図7 ベンチ模擬試験装置

Fig. 7 Experimental apparatus of mock up model

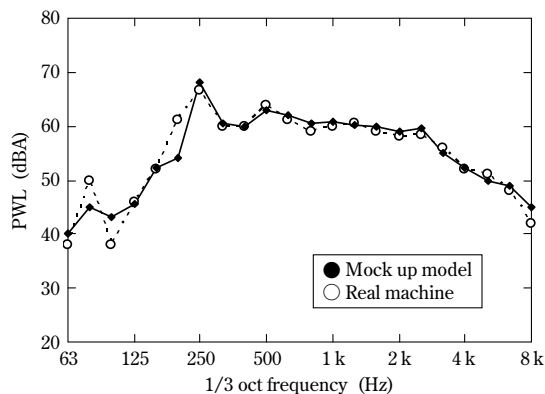


図8 実機とベンチ模擬装置の周波数特性比較

Fig. 8 Comparison of sound power between mock up and real model

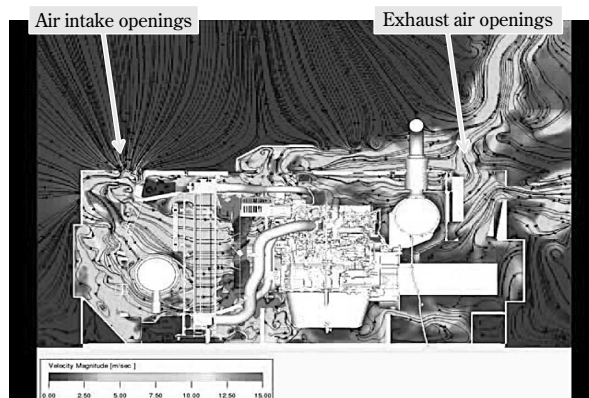


図9 エンジンルーム内の冷却風流れ解析

Fig. 9 Analysis of cooling air flow in engine room



の形状で計算が実施できるメリットがある。風量の数値評価だけでなく、流れのよどみや渦の発生を確認でき、対策案の抽出にも役立つ。

### 2.3.3 音響解析

従来は膨大な解析時間や音源モデルの複雑化などにより、実用化レベルに達していなかった。今回は(株)神戸製鋼所機械研究所振動音響室との取組で機種開発へ対応できるレベルまで達成したので以下に概要を示す。

#### 1) 高周波領域の音場解析技術

従来、音場解析は数値解析手法の一つである境界要素法 (Boundary element method) が用いられることが多い。境界要素法は場の支配微分方程式から導出される境界積分方程式を離散化することによって数値的に解く方法である。対象空間の境界面のみメッシュ分割すれば良く、開領域問題 (例: 屋外への音響放射) のための特別な境界条件が不要であるために音の解析に有利であるという特長がある。しかしながら、境界要素法によって境界を離散化する場合、十分な解析精度を確保するためには音波の波長の1/8程度で分割する必要がある。このため、波長が短く高周波音になるほど要素を細かくする必要があり、計算時間とメモリ容量が膨大になる問題がある。

図10に解析手法と要素数、解析時間の関係を示す。建設機械規模の音場解析を想定すると、図に示すとおり、500Hz程度が限界と考えられてきた。近年、コンピュータの性能向上やアルゴリズムの開発 (高速多重極境界要素法: Fast multipole boundary element method) により解析周波数は徐々に高い周波数の解析が可能となってきているが、計算時間、メモリ容量ともに設計に活用できるようなレベルではない。これに対して、高周波音であれば波動性の影響が小さいことに着目し、熱の解析や光の伝搬解析 (CG レンダリング手法) で利用されるラジオシティ法<sup>3), 4)</sup>を音響問題に適用し (音響ラジオシティ法)、音場を解析する手法を開発した。音響ラジオシティ法も境界のみの要素分割で良いため、境界要素法とモデルを共有することができる。約500Hzまでの低周波域を境界要素法、それ以上の高周波域を音響ラジオシティ法で解析することにより、計算時間を従来の1/30に短縮させることができた。

#### 2) 音源のモデル化技術

音場解析を実施する場合、従来方法は構造物の全要素に振動速度を入力する必要がある。要素数の多い高周波では、図10に示すとおり数万要素の解析モデルとなるた

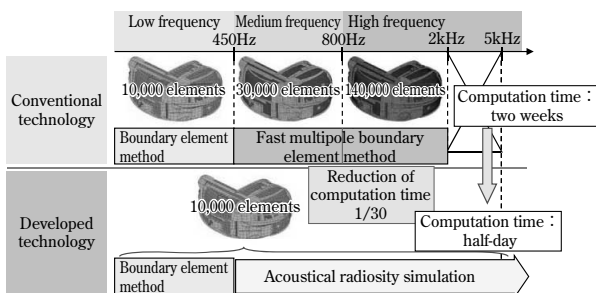


図10 高周波領域の音場解析技術

Fig.10 Sound analysis technology of high-frequency region

め、振動速度も数万点という膨大な計測点のデータが必要となり、解析を行うことは事実上不可能である。これに対して、等価な単純音源に置換える等価音源法を開発することにより、計測点を数万点から数十点規模まで大幅に減らすことができた。具体的には下記の手順で音源を同定する。

- ①実働状態で周囲音圧 $p$ を計測する
- ②表面上に音源を仮定し、周囲音圧との伝達関数 $H$ を測定する
- ③実働状態の音圧分布を満たす等価音源 $q$ を求める ( $p=Hq$ )

図11は、4kHzまでの音場を解析するために、入力条件としての振動速度が波長の1/8程度である10mm間隔とする必要があるエンジンに対し、振動速度データを200mm間隔 (200Hz以下の解析のみに適用できる間隔) で入力した場合と、本技術により等価音源を同定して200mm間隔で入力した場合の精度検証結果を示す。今回の等価音源法は、200mm間隔音源入力にて従来の10mm間隔入力と同等の精度を確保でき、解析および計測時間の短縮が可能となることを示している。また、本技術は振動を直接計測することが困難な、ファンのようなものもモデル化が可能である。

### 2.4 評価結果

図12に現行機と改良機の音響パワーレベルの1/3オクターブ周波数特性を示す。騒音レベルの低減として、400Hz以上の高周波数域で従来機比10dB以上の効果が得られ、喧騒感の低減に寄与できている。

また、図13には機側1m点での騒音レベル値の変化

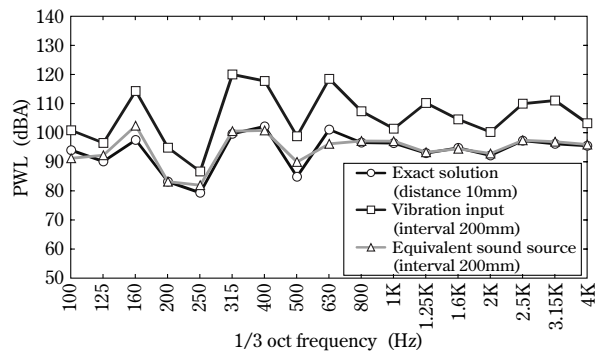


図11 音源モデル化手法の精度検証

Fig.11 Modeling Accuracy of of the sound source

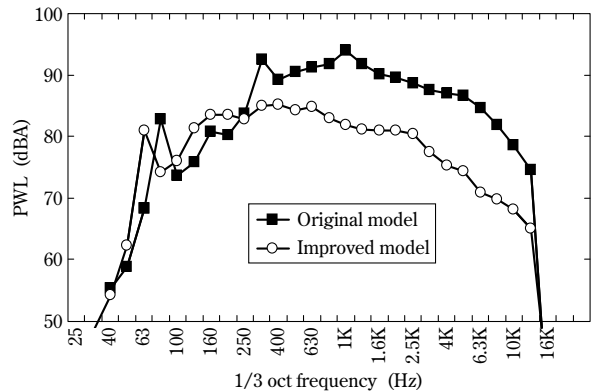


図12 改良前後の音響PWL(実測値)比較

Fig.12 Comparison of measured PWL between original and improved enclosure



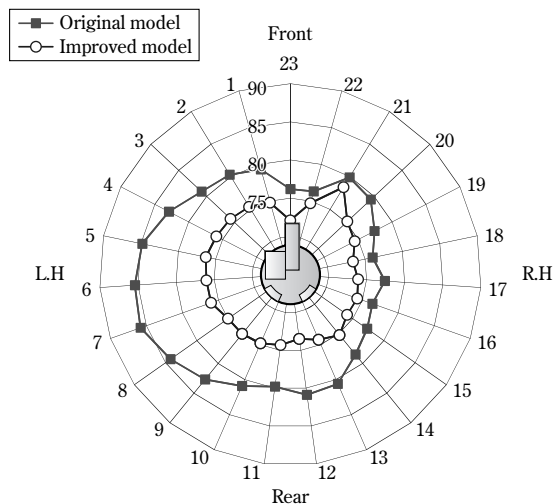


図13 機械の近接騒音比較  
Fig.13 Comparison of noise near machine

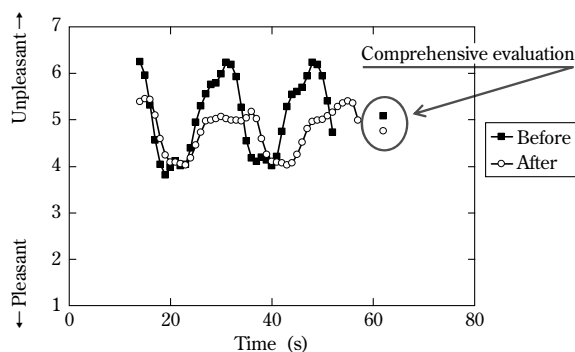


図14 快-不快聴感評価結果  
Fig.14 Result of subjective evaluation of pleasant-unpleasant

を示す。機械のすぐ横での音は、運転席の左側で10dBと大幅に低減しており、工事作業員間のコミュニケーションも十分に図ることができるようになった。

一方、エンクロージャ開口部からの放射音が大幅に低減すると機械表面の振動から放射される油圧固体伝播音が目立つようになり、音質を悪化させる結果となった。そこで、音質改善の手法を用いて油圧配管支持部の振動伝達率を低減させる対策を施した。図14に対策前後の掘削作業3サイクルの聴感評価<sup>5)</sup>での「快-不快」の時刻歴変化を示す。対策後は評価値の変動が小さくなり総合評価も改善した。

## 2.5 商品展開とNETIS

本技術をACERA Geospec SRシリーズの3モデルに搭載した。前述の図1に示したように、各機種現行(△印)から新型(○印)へ騒音低減させ、SK135SR、SK235SRでは、最も厳しい騒音規制値である国土交通省超低騒音型

基準値を5dB下回ることができた。SK70SR、SK135SRにおいてはミニショベル並みの低騒音レベルとなっている。

また、2010年に国土交通省の新技术情報提供システム「NETIS(New Technology Information System)」の審査を受けて登録したことにより、顧客が工事成績評定に加算することができ、本商品をさらに有効に活用いただいている。

## 2.6 更なる低騒音化に向けて

今後のさらなる騒音レベルの低減に向けては、最大の音源であるファン音の低減が必要である。ファン自体およびその周辺部品を含めた風の流れに着目した改善や、より低騒音化が可能な冷却システムの開発が望まれる。最近では、ファンの流体騒音解析技術が大幅に進化しており、これを適用した抜本的な対応も期待される。ただし、ファン音の改善は機械音の中の定常的な成分の低減につながり、今までファン音にマスキングされて目立たなかった作業時の変動成分が卓越してくることによる音質の悪化に注意が必要である。

むすび=油圧ショベルの低騒音化は今後さらに進んでいくものとする。しかしその一方で、排ガス規制の強化も加速度的に進んでおり、その影響として、エンジン発熱量の増加による冷却系騒音の悪化や、排ガス浄化装置の追加による機体レイアウトや防音構造の見直しといった新たな課題が生じている。また、エンジンルームからの音以外で掘削装置や走行装置などの稼働時の衝撃音などに対する低減対策もクローズアップされてくる。

今後のさらなる低騒音化に向けて、新たな改善アイテムの開発が期待される。音質面においては、受音者のそれぞれの立場に立った取組が必要である。とくに今後は、周囲だけでなく運転席でのオペレータの快適性に対し、騒音レベルの低減に加えて、長時間運転時の疲労度や操作に必要な音を意識した音質の改善が求められるものとする。油圧ショベルの音響設計の立場から、今後も快音化を推進し、広く社会のニーズに適合する油圧ショベルの提供に寄与していきたいと考える。

## 参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局大気生活環境室. 平成22年度騒音規制法施行状況調査について, p.8-9.
- 2) 田中俊光ほか. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.43.
- 3) A. Le Bot et al.. J. Acoust. Soc. Am. 2000, Vol.108, No.4, p.1732.
- 4) S. Siltanen et al.. J. Acoust. Soc. Am. 2007, Vol.122, No.3, p.1624.
- 5) Hatano et al.. 17th ICA Proceedings Room. 2001, Vol. IV, p.189.

(解説)

# 油圧ショベルの低燃費を支えるシミュレーション技術

## Simulation Techniques for Fuel Efficiency Improvement in Hydraulic Excavators



今西悦二郎\*<sup>1</sup>(工博)  
Dr. Etsujiro IMANISHI



南條孝夫\*<sup>1</sup>  
Takao NANJO



筒井 昭\*<sup>2</sup>  
Akira TSUTSUI

Simulation techniques to reduce the fuel consumption of hydraulic excavators are presented in three categories: First, a strongly non-linear dynamic simulation technique is described for a coupling system with a non-linear hydraulic system and a linkage system. Second, a technique is presented for evaluating fuel consumption in an engine powering the hydraulic pump in the real time digging operation of a hydraulic excavator. Finally, a dynamic simulation technique is presented for evaluating the efficiency of a hybrid system consisting of power electronics equipment, electric-hydraulic equipment, and a linkage system.

まえがき＝地球温暖化や原油価格の高騰によって、油圧ショベルにおいても、低燃費化への要求が近年ますます強くなってきた。油圧ショベルは、図1に示すようにエンジンによって油圧ポンプを駆動し、油圧配管、バルブからなる動力システムによって作業機(アタッチメント)を駆動する。油圧ショベルにおける低燃費化の取組としては、これまでポンプ制御や配管の圧力損失低減などによって燃費改善が行われてきたが、これだけでは燃費改善を図ることは限界となっており、システムとしての損失評価および改善が求められていた。また、エンジンとバッテリーシステムからなるハイブリッドシステム<sup>1), 2)</sup>の適用も有効と考えられる。

本稿では、油圧ショベルの低燃費化を図る上で重要となるシステムのシミュレーション技術について紹介する。まず、強い非線形性を示す油圧システムとリンクシステムが連成するシステムの非線形動的解析技術と、油圧ショベルの掘削作業時に発生する油圧ポンプ動力をリアルタイムにエンジンに負荷するエンジン燃費評価技術を紹介する。

次に、ハイブリッド動力源を構成する発電機、バッテリー、コンバータなどのエレクトロニクス機器、アクチュエータシステムを構成する電動油圧機器、およびアタッチメントのリンクシステムからなるトータルシステムを

モデル化したハイブリッドシステムの動的シミュレーション技術を紹介する。

### 1. 油圧ショベルの動力評価と低燃費化

#### 1.1 油圧システムにおける動力損失の寄与度解析

油圧ショベルの油圧システムとリンクシステムの連成解析を行うため、リンクシステムでは変位、油圧システムでは流量積の状態量を用いることによって、連成するシステムをMCK形<sup>3)</sup>の非線形運動方程式<sup>3)</sup>に記述した。これによって、陰解法による数値積分を行うことができ、非線形性の強いシステムでも安定して解析することが可能となる。リンクシステムでは、物体が空間を大きく運動することによる幾何学的非線形性を考慮したはり要素<sup>4)</sup>、およびトラス要素を用いた。これらの要素を用いて、油圧ショベルのアタッチメントをモデル化した(図2)。油圧システムは、配管要素、バルブ要素、シリ

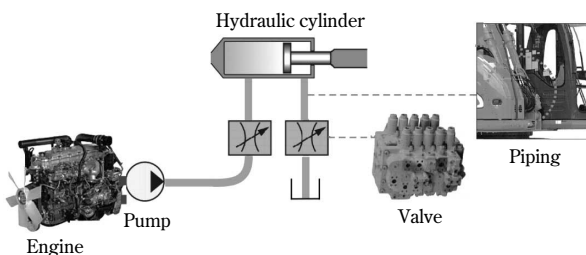


図1 油圧ショベルの動力システム  
Fig. 1 Power train system on hydraulic excavator

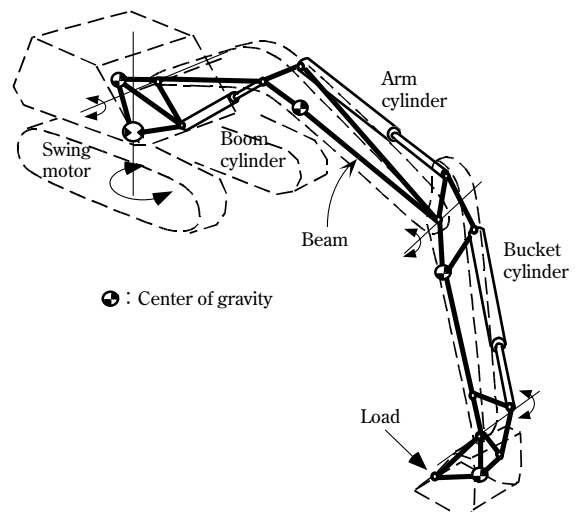


図2 油圧ショベルのアタッチメントのモデル化  
Fig. 2 Modeling of attachment on hydraulic excavator

\*<sup>1</sup>(株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所 \*<sup>2</sup>(株)神戸製鋼所 技術開発本部 電子技術研究所

ンダ要素<sup>5)</sup>などを用いて図3のようにモデル化した。シリンダ要素ではポートからの作動油の流入・流出によってストロークが伸縮し、部材端における負荷に応じてシリンダ内部に圧力が生じる。シリンダ要素では油圧システムの作動油流量積とリンクシステムの節点変位が連成しており、連成解析が可能となる。

本解析の妥当性を検証するため、油圧ショベルの掘削作業2サイクルの解析を行い、実験結果と比較した。掘削作業は大別すると掘削、ブーム上げ旋回、ダンプ、ブーム下げ旋回の4つの作業形態に分かれ、走行以外の全てのアクチュエータが作動する作業である。アクチュエータ挙動、ポンプ動力、および燃費の実験結果と解析結果の比較を図4に示す。実機の性能を解析でほぼ再現できており、燃費の誤差は0.4%以内であった。この解析結果から、油圧システムの各部位において発生する動力損

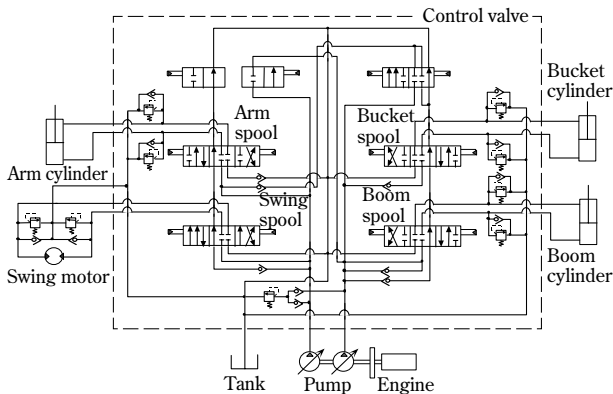


図3 油圧ショベルの油圧システム  
Fig. 3 Hydraulic system on hydraulic excavator

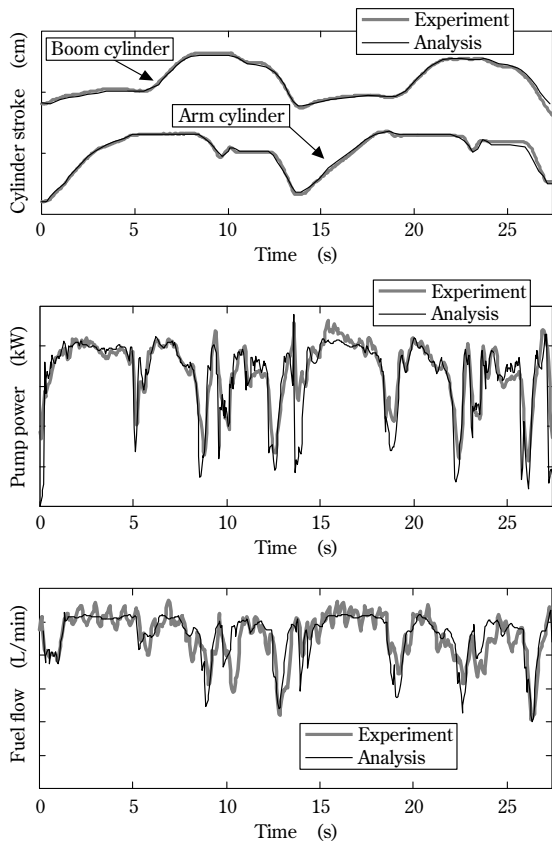


図4 掘削作業時の実験結果と解析結果の比較  
Fig. 4 Comparison with experimental and analytical results in digging operation

失が得られる(図5)。さらに、油圧システムの配管、バルブ開口、バルブ通路などの要素別に損失を分類した結果を図6に示す。この図は、掘削作業時に油圧システムにおいて発生する動力損失の寄与度を示すものであり、定量的な省エネ対策指針を策定する上で極めて重要な結果である。図6の結果に基づいて、損失動力の大きな部位に対しては、半減させることを目標とし、動力損失の具体的な削減対策方針を策定した。

本技術によって、油圧ショベルの掘削作業時の複雑な動きを詳細に、かつ高精度に解析することが可能となり、省エネに対する寄与度を明確にすることで、バルブなどの圧力損失による動力損失を最も効果的に低減し、省エネ性の高い油圧ショベル用油圧システムを実現することが可能となった。

## 1.2 油圧システムの損失動力低減技術

損失寄与度解析結果から、油圧システムにおける動力損失の主要部位の一つとして、バルブ内の圧力損失が挙げられる。内部通路を全て拡大すると、バルブ全体が大きくなり過ぎて油圧ショベル本体へ搭載することが困難となる。そこで省エネ寄与度解析結果から、最も効果的な通路に着目し、通路拡大を図った。

また、省エネ寄与度解析結果から、油圧システムにおける動力損失の主要部位の一つとして、旋回用油圧シ

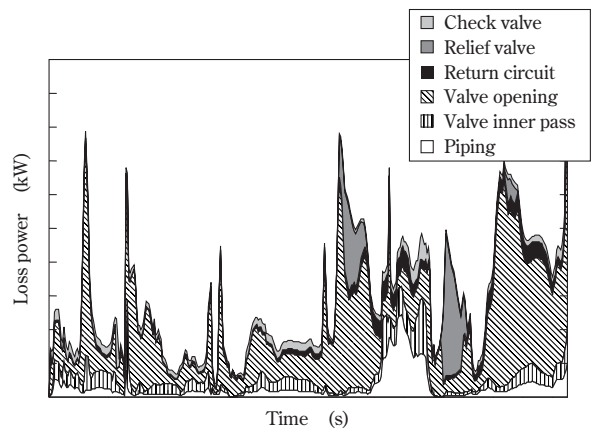


図5 掘削作業時の油圧損失動力の解析結果  
Fig. 5 Simulation results of hydraulic loss power in digging operation

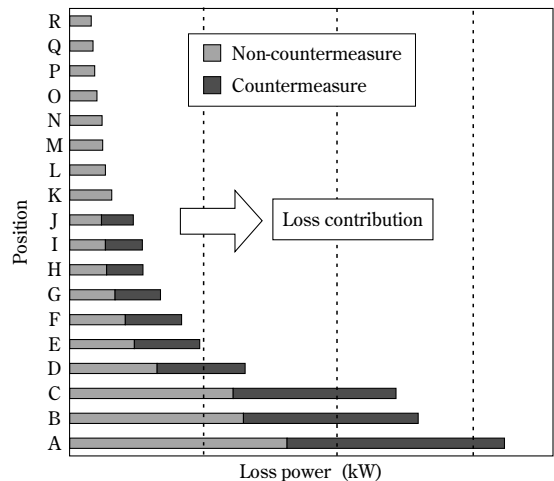


図6 油圧システムにおいて発生する動力損失の寄与度解析結果  
Fig. 6 Simulation results of power loss contribution generated in hydraulic system



テムのリリーフ弁の損失が挙げられる。そのため、ポンプ流量制御と組み合わせた旋回リリーフ制御を考案した。従来、油圧ショベルの旋回用油圧システムでは、加速中に油圧ポンプからの供給流量を旋回用油圧モータへ流すとともに、リリーフ弁から無駄に捨てる流量があった。そこで、リリーフ弁の特性に着目し、ポンプ圧力信号によってポンプ供給流量を制限しながら、リリーフ弁から無駄に捨てていた流量を削減し、旋回に必要な圧力を確保する制御を考案した。その他、油圧システムでは、ポンプ制御とバルブ制御を最適に組合せた制御方式を考案し、ポンプ供給流量の最適化を図り、油圧システムの損失を大幅に削減することに成功した。

### 1.3 エンジンの燃費評価および改善

図7は操作レバーに応じた実作業時の負荷をシミュレーションによって求め、それをリアルタイムにエンジンに負荷するエンジンHILS(Hardware In the Loop Simulation)システムの構成概念図である。本システムはアニメーション表示ができ、実際にアタッチメントの動きに合わせて操作レバーを操作することが可能である。エンジンHILSシステムによって、システム解析とエンジンベンチ評価技術を融合させることができ、負荷パターンがない場合でも、各種操作でエンジン燃費性能を評価することが可能となった。本評価技術によって、油圧ショベル搭載時のエンジン燃費をベンチ上で高精度に評価することが可能となった。エンジン単体だけでなく油圧ポンプを含めたトータルシステムとして燃費改善に取組み、油圧ショベルに最適なエンジン燃費性能を実現するエンジン・ポンプ制御技術を新たに開発することができた。

トラックメーカーから購入したエンジンは、燃費特性がトラック用にチューニングされている。そのため、油圧ショベルの負荷に適したチューニングが必要となる。トラック用エンジンでは回転数の低い領域で燃費特性を高めており、油圧ショベルで使う領域では燃費特性が悪化する。そこで、エンジンHILSシステムを活用し、油圧ショベルに適したエンジン燃費特性の最適化を行い、高出力域での燃費を大幅に改善することができた。

エンジン・ポンプ制御に関しては、従来は生産性を優先し、最高回転数から最大馬力点を狙う制御を行っていた。しかし回転数が高く、出力の低い領域ではエンジンの燃焼効率が悪いことが問題であった。そこで使用回転数を低く抑え、かつ一定に制御するアイソクロナス制御

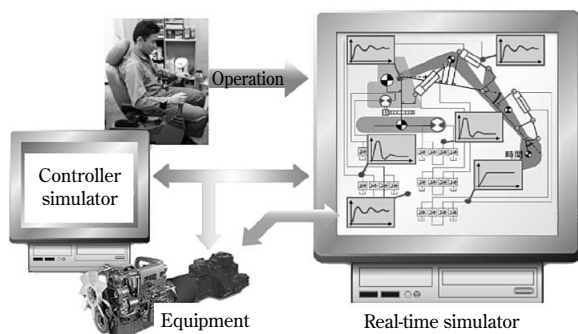


図7 エンジンHILSシステムの構成概念図  
Fig. 7 Configuration diagram of engine HILS system

を採用し、ポンプ制御とエンジン回転数の最適化を図った。その結果、燃費を大幅に改善することができた。

### 1.4 低燃費効果

油圧システムの省エネ技術、およびエンジン燃費改善技術によって、20tクラスの油圧ショベルにおいて、従来機に対して、掘削Sモード時に作業量同等で燃費20%削減、掘削Hモード時では燃費同等で作業量8%向上を確認した。また、(社)日本建設機械化協会規格(JCMAS)における燃料消費量計測結果では、従来機と比べ17%の燃費低減となった。

## 2. 油圧ショベルのハイブリッドシステムの開発

### 2.1 ハイブリッドシステムの概要

ハイブリッドショベルの外観図およびシステム構成をそれぞれ図8、図9に示す。各アクチュエータは、基本的には独立なシステムによって構成する。そのため、従来の油圧ショベルにおいて発生していた油圧配分損失を低減させることができる。また、動力源はエンジン動力の平準化のためにエンジンとバッテリー・キャパシタからなるシリーズ方式のハイブリッド動力源システムである。

### 2.2 動力源システム

動力源システムはシリーズ方式としているため、ハイブリッド動力源から各アクチュエータへの動力は、直流母線によって電力供給される。そのため、各アクチュエータの消費動力に応じて電力が供給され、各アクチュエ

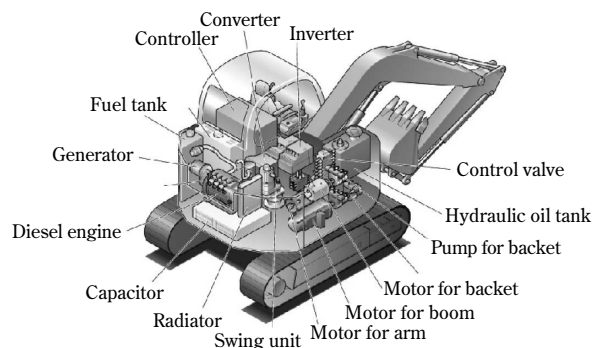


図8 ハイブリッドショベルの概念図  
Fig. 8 Conceptual scheme of hybrid excavator

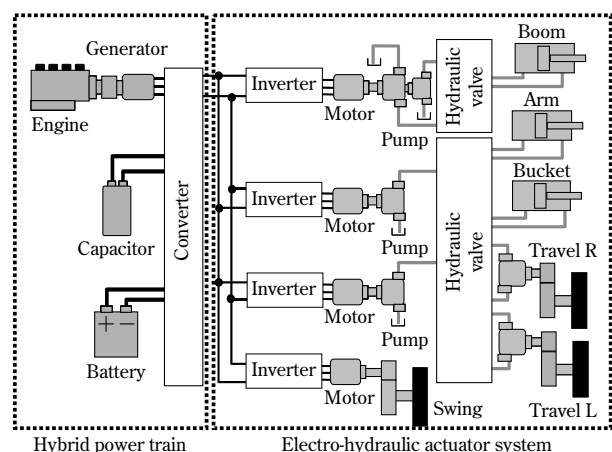


図9 ハイブリッドショベルのシステム構成図  
Fig. 9 System diagram of hybrid excavator



ータに配分される。アクチュエータの消費動力に対して動力源からの電力を安定して供給するために、直流母線の電圧を一定に保つ制御（直流母線電圧制御）を行う。

### 2.3 アクチュエータシステム

アクチュエータシステムは、ブームシステム、アーム・バケット走行システム、および旋回システムからなる。ブームシステムは、アタッチメントの自重を保持しており、ブーム上昇時に蓄積した位置エネルギーを回生するため、電動機、両回転油圧ポンプ、制御弁を用いたクローズドな電動油圧システムとしている。ブーム下げ操作時に発生するブームヘッド側の油圧動力を両回転油圧ポンプに作用させ、その動力によって電動機に回生電力を発生させる。発生した回生電力は、キャパシタおよびバッテリーに充電される。アーム・バケットシステムは、電動機、片回転ポンプ、方向制御弁などを用いたオープンシステムである。旋回システムは、回転運動であることから油圧は用いず、電動機駆動システムとしている。走行システムは、アーム・バケットの油圧源を用いた電動油圧駆動システムとしている。

### 2.4 システム方程式

ハイブリッドショベルの数式モデルは、リンクシステム、油圧システム、パワーエレクトロニクスシステム、およびエンジンシステムの要素ごとに生成された方程式を有限要素法的に組合せ、システム方程式を構築<sup>6)</sup>する。ハイブリッドシステムの数式モデルの構成を図10に示す。各要素において生成された特性マトリックス、および動力源システム、アクチュエータシステムにおけるシステム指令を、システム方程式のマトリックスおよび外力項に組込む。その後、システム運動方程式を時間ステップごとに解き、シミュレーションを実行する。本手法では、時間積分法としてニューマークβ法、収束計算法としてニュートン法を用いることによって数値解析的な安定性を確保することができる。

### 2.5 性能評価解析および精度検証

ハイブリッドシステムのトータルシミュレーションモデルを用いて、各種の性能評価解析を行った。また、ハイブリッドショベルの性能実証機を製作し、実機試験により、従来機との性能比較を行っている。

実作業時の動力評価の例として、図11に油圧ショベルの代表作業の一つである掘削積込作業のアクチュエータ動力の性能評価結果を示す。操作はブーム、アーム、バケット、旋回の4アクチュエータの複合操作である。従来システムとの比較のために、ハイブリッドシステムではアクチュエータ駆動電動機の入力電力の総和、従来システムでは駆動油圧ポンプの出力動力をアクチュエータ投入動力として比較している。ハイブリッドシステム

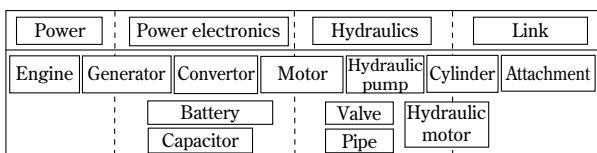


図10 ハイブリッドシステムの数学モデルの構成  
Fig.10 Configuration of mathematical model of hybrid system

では、とくにアクチュエータ出力（作業有効出力）の低い作業後半に大幅な投入動力低減が図られており、狙いとする油圧低出力時の油圧配分ロスが低減できていることがわかる。図12にこの作業でのアクチュエータシステムのエネルギー収支を示すが、この作業では従来油圧システムに対し約45%の動力低減が図られている。

上記の掘削積込作業を含めて油圧ショベルの代表的な作業パターンでの燃費性能評価をトータルシミュレーションモデルにより評価し、実機性能との比較検証を行った。図13に各作業での従来機の作業燃費に対するハイブリッドシステムでの燃費削減効果の実測結果とシミュレーション結果の比較を示す。作業により、従来機と比較し燃費削減効果に差はあるが、全ての作業において40%以上の燃費削減効果があることがわかった。シミュレーション結果と性能実証機の実測結果の比較では、燃費削減効果の評価がどの作業においても5%以内の誤差となっており、狙いどおりの性能が確保された。このこ

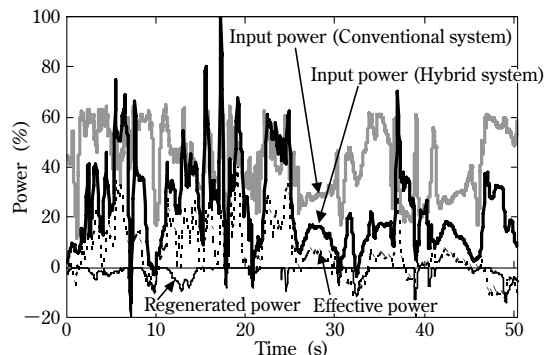


図11 掘削積込作業のアクチュエータ動力の性能評価結果  
Fig.11 Actuator power on excavating and loading

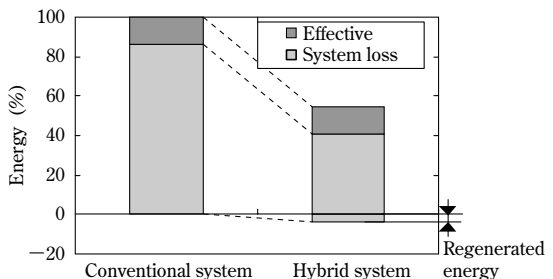


図12 掘削積込作業におけるアクチュエータのエネルギー収支  
Fig.12 Energy consumption of actuator in excavating and loading

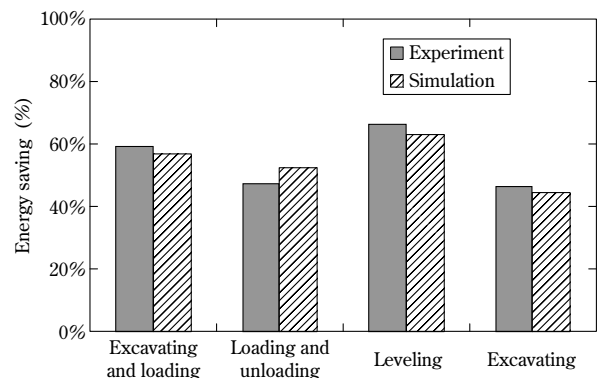


図13 各作業モードにおける燃料消費削減効果の実験結果およびシミュレーション結果  
Fig.13 Experimental and simulation results of fuel energy saving effect on each operation mode

とから、本手法によるシミュレーション技術は、ハイブリッドショベルの燃費性能を精度よく事前予測できる、実用的な技術であることが示された。

**むすび**＝本稿では、省エネ型油圧ショベルの開発において取組んだ省エネ技術の概要を紹介した。今後、油圧ショベルの省エネ化の要求はますます高まると考えられるが、現状の動力システムにおける損失改善だけでは大幅な改善は難しく、新たなシステム開発が求められる。そのためには、パワーエレクトロニクスを含むシステム評価技術が不可欠となる。今後とも、さらなる省エネ化に取組み、地球環境保護に貢献していきたい。

#### 参 考 文 献

1) 井上宏昭. 建設の施工企画. 2009, No.707, p.30-34.

2) 鹿兒島昌之. 建設の施工企画. 2009, No.707, p.40-44.

3) 今西悦二郎ほか. 日本機械学会論文集. 2003, Vol.69, No.685, p.2336-2343.

4) 頭井 洋ほか. 日本機械学会論文集. 1986, Vol.52, No.483, p.2814-2821.

5) 今西悦二郎ほか. 日本機械学会論文集. 1987, Vol.53, No.492, p.1711-1719.

6) 南條孝夫. 日本機械学会論文集. 2011, Vol.77, No.782, p.3694-3704.

(解説)

# 油圧ショベルの動的挙動シミュレーション技術

## Technology for Simulating Dynamic Motion in Hydraulic Excavators



川端将司\*1

Masashi KAWABATA



森 辰宗\*1

Yoshimune MORI

The dynamic motions of hydraulic excavators were analyzed by simulation. The structure of the hydraulic excavator was modeled using the finite-element and integrated component mode methods. The simulations included the vibration analysis of a crawler traveling on flat and rough roads as well as the analysis of dynamic stability in excavator attachment operations. It was found that the simulations accurately reproduced the dynamic behavior of the excavators and shortened the period required for new product development, particularly in the stage of advanced designing.

ま え が き＝油圧ショベルなどの建設機械の開発においては、ユーザニーズや環境変化に対応した新製品をタイムリーに市場に投入するために、開発期間の短縮が必要となっている。短期開発のためには、試作前の設計段階での高精度なシミュレーションによる事前評価により、試作機試験で発生する不具合をできる限り少なくしなければならない。

近年のCAE技術によれば、ハードウェア、ソフトウェアの進歩により、設計者が開発初期段階で3次元CADによる設計および有限要素法(Finite Element Method, 以下FEMという)による剛性評価、強度評価を行えるようになってきた<sup>1)</sup>。しかし、FEMによる事前評価は適切な境界条件、荷重条件をもとに行わなければ十分な精度で評価を行うことができない。

油圧ショベルの走行や掘削などの作業に対してシミュレーションを行う場合、構造物の大変位運動や複雑な構造物間の接触を考慮する必要があり、従来のFEMでは動的に発生する荷重や振動を評価することは難しい。そこで、油圧ショベル全体系の動的挙動をシミュレーションにより予測する手法として、走行クローラ構造やアタッチメント、アッパフレームなどの構造物を含めたショベル全体系モデルを構築し、マルチボディダイナミクスの手法を用いた予測手法を開発した。それらを実現するための機構解析ツールとして、RecurDyn<sup>2)</sup>を用いた。RecurDynは機構・構造の連成解析機能を持ち、油圧ショベルの走行機構である履帯(クローラ)構造をモデル化するためのユーザインタフェースを有しており、大変形かつ接触を考慮した解析が可能なソフトウェアとしてこれらの解析に適している。接触を考慮した解析は、通常多大な計算時間を要するが、Recursive Formulation理論を用いた定式化により、計算速度が非常に速い特徴を持っており<sup>3)</sup>、設計段階での繰返し検討を行う際に有利と

なる。

本稿では、RecurDynを用いた油圧ショベル動的挙動シミュレーションの事例として、ラフロード走行時の動的強度評価、平地走行振動評価、およびアタッチメント動作時の車体挙動(以下動安定挙動)評価を行った結果について紹介する。

### 1. 解析モデル

クローラ式油圧ショベルの走行時の車体振動は、地面とクローラとの接触部から荷重が加えられ、その力と慣性力によってロワフレーム、アッパフレームなどの構造物が弾性変形することにより生じる。また、掘削などの作業時の振動では、アタッチメントの機構部品であるシリンダの特性やアタッチメント自体の弾性変形が挙動に影響する。これらの動作に対して、精度よく車体の挙動を解析で把握するためには、クローラ部分の接触を考慮したモデル化と、各フレーム、アタッチメントの弾性変形を考慮したモデル化が必要である。

走行系の解析を行う場合、クローラの各コンポーネント(スプロケット、ロワローラ、トラックリンクなど)のモデル化を詳細に行う必要があるが、RecurDynはこれらを剛体として形状をモデル化し、それぞれの接触を考慮した解析を行っている。ロワフレーム、アッパフレーム、アタッチメントなどの弾性挙動を表現したい構造物については、MSC/NASTRANを用いて各構造物の固有値解析を行い、その結果の固有モードおよび質量・剛性マトリクス、節点・要素情報をRecurDynに取込み、モード合成法に基づいた解析を行う。モード合成法による解析では、評価すべき構造物の変形が考慮する固有モードで表現できている必要がある。計算時間が少なく済む反面、固有値解析の精度が十分でなければ応答解析の精度が悪くなる可能性がある。しかし、FEMモデルの全自

\*1(株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所

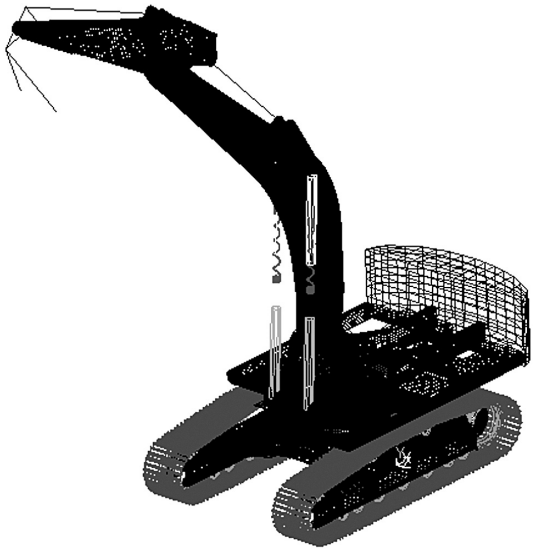


図1 油圧ショベルの解析モデル  
Fig. 1 Simulation model of hydraulic excavator

自由度を考慮した解析や、近年提案されている弾性体間での接触を考慮できる手法は、油圧ショベルのような複雑構造物の挙動解析では計算時間がかかりすぎて実用的ではない。そこで、固有値解析の境界条件を工夫することによって、実際に発生する動的な挙動を表現できるようにモデル化を行い、モード合成法でも実用的な精度を確保している。

図1はアタッチメント、アッパフレーム、ロワフレームの構造物をそれぞれFEMモデルとし、クローラ走行体はRecurDynツールを用いた剛体機構系、アタッチメントの起伏シリンダは実機油圧シリンダを模擬したスライダ+バネ要素で構成したモデルの一例を示している。

どこまでの構造物を弾性体としてモデル化するかは、設計のどの段階で実施するか、および解析目的に応じて決定する。たとえば、初期段階でクローラ走行部分のコンポーネントの概略設計を行う場合は、各構造物は重量、慣性、重心位置などを表現した剛体モデルによる解析で十分である。ラフロード走行でアッパフレームの強度のみを評価したい場合は、アタッチメント部は剛体と質量要素で表現するなど簡易化し、弾性変形を考慮したモデル化はアッパフレームとロワフレームに絞ることで計算をより高速化することができる。

## 2. 解析事例

本章では、平地走行振動解析、ラフロード走行時のフレームなどの強度を評価する動的挙動解析、アタッチメント動作時の車体挙動（動安定挙動）を評価する動安定挙動解析の事例を紹介する。

### 2.1 平地走行振動解析

油圧ショベルの平地走行時の振動は、クローラ走行体と地面との接触により発生する反力が加振力となって発生する。ロワローラやアイドル、スプロケットなどの構成部品はその加振力の大きさに寄与するため、振動を考慮してその形状や配置などの設計を行う。図2は走行振動の解析モデルを示す。走行時の加振力の大きさは、ロワローラの位置により大きく左右されるが、その位置を

変更した油圧ショベルを試作して検討すると多大な開発期間を要する。一方、解析上でその位置を変更し、図3に示すような車体の応答加速度を出力してその大きさを評価することは短期間で実施することができる。また、アッパローラの位置はクローラのばたつき現象に寄与するが、これも同時に解析上で検討することができる。これらの事前解析によって開発のスピードアップに大きく貢献した。

### 2.2 ラフロード動的挙動解析

ラフロード試験は、悪路を想定してブロックを配置した路面の上で油圧ショベルを走行させて（図4）、各部の耐久性を評価する試験である<sup>4)</sup>。この試験で不具合が発生し、対策・再試験を行うと開発期間の増大を招くこと

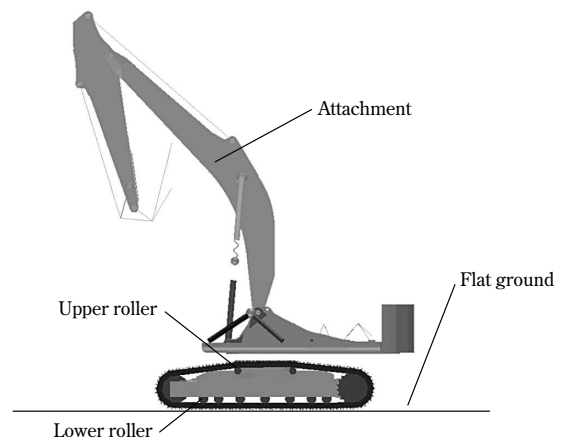


図2 平地走行解析モデル  
Fig. 2 Simulation model for flat ground traveling

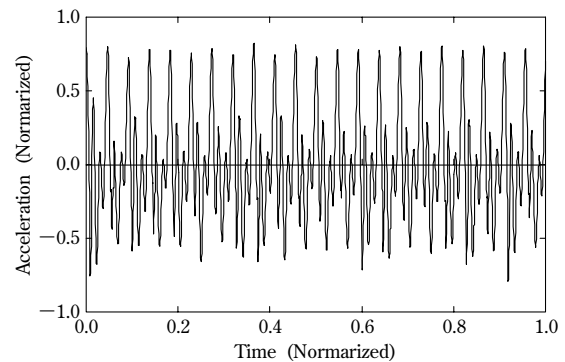


図3 平地走行解析結果  
Fig. 3 Simulation result of flat ground traveling



図4 ラフロード走行試験  
Fig. 4 Rough road traveling test



となるため、事前にラフロード走行時の挙動を予測することは重要である。ラフロード路面をRecurDyn上でモデル化し、その上で油圧ショベルを走行させることで、ラフロード走行時の挙動をシミュレート可能となる。その際、解析モデルをどこまでFEM弾性体モデルで表現するかは、解析目的により適切に選択する。

アッパフレームの応力評価を目的とした解析においては、アタッチメントおよびロウフレームは、重心位置、重量・慣性モーメントを表現した剛体モデルとし、アッパフレームのみ弾性体モデルを用いた。このモデルを用いて、単一のラフロードブロックを乗越える挙動解析を実施した。図5はそのときのアッパフレームの応力コンター図を示している。

挙動解析におけるFEMの応力は、応答解析のモード座標の応答と、固有値解析で得られる応力モードの計算結果をもとに算出可能である。図6にアッパフレームのある要素の応力波形出力結果を示す。このように時間軸で応力波形を出力することができるため、頻度解析を行って寿命評価につなげることが可能となる。実機試験結果との整合性については、部位によってはまだ差異が大きいこともあるが、これまでの静的な解析では評価できなかったラフロードで発生する振動によって生じる応力を評価することができるようになった。

ラフロード挙動解析は応力評価のみならず、エンジンなどの動力部品や燃料タンクなど、搭載物の振動挙動を

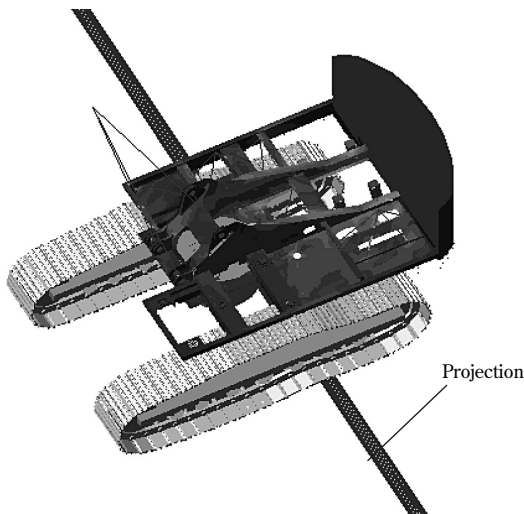


図5 ラフロード解析の応力コンター図  
Fig. 5 Stress contour of rough road simulation

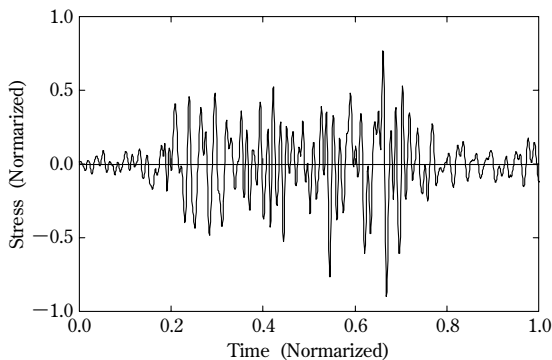


図6 ラフロード解析の応力応答  
Fig. 6 Stress response of rough road simulation

評価することも可能であり、搭載する機器の耐振動設計要件の検討にも使用できる。

### 2.3 動安定挙動解析

油圧ショベルの作業時において、土砂を積んだ状態でアタッチメントを速い速度で動かしたとき、その慣性力によって車体が浮き、連続操作などの際に車体全体が大きく振動する挙動がある。車体が浮上ると、その着地時の衝撃により大きな振動が発生することから、アタッチメントを最大速度で振下げたときの挙動（動安定挙動）を解析評価した。この解析では図1に示す詳細なモデルを用いている。図7に示すようにアタッチメントを伸ばした状態で振下げたとき、後方が浮上の現象が起こる。このときのスプロケット部の上下変位波形を図8に示す。車体後方はいったん大きく浮上り、その後も数回小さく浮上る結果となっているが、この結果は実機とまったく同様の動きが再現できている。図9はこのときのキャブの前後振動加速度の波形を示しているが、後部の着地の直後に大きな振動が発生していることがわかる。キャブは重量・慣性を表現した剛体モデルで、防振用のキャブマウントの特性を考慮したモデル化を行っている。この衝撃により発生する振動は、実機ではオペレータの乗心地評価に影響するものであり、このシミュレーション技術によって事前に検討することが可能となった。

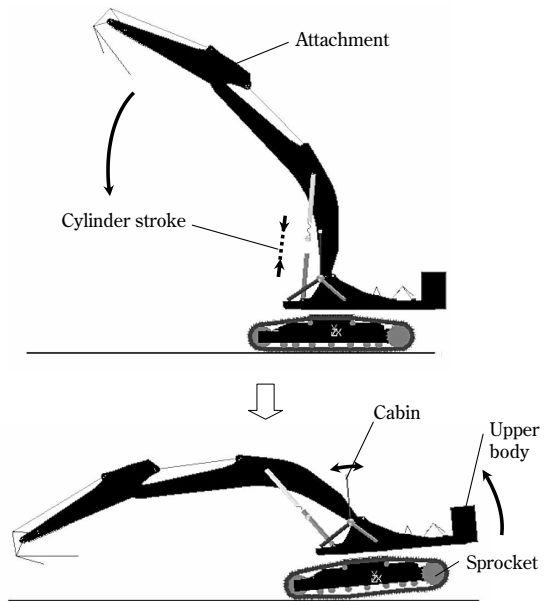


図7 アタッチメント動作時のシミュレーション  
Fig. 7 Simulation of attachment operation

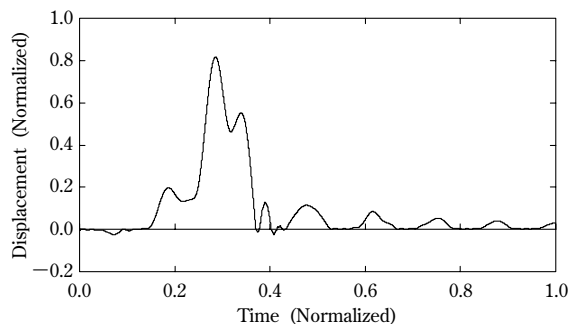


図8 スプロケット部の変位応答  
Fig. 8 Displacement response of sprocket

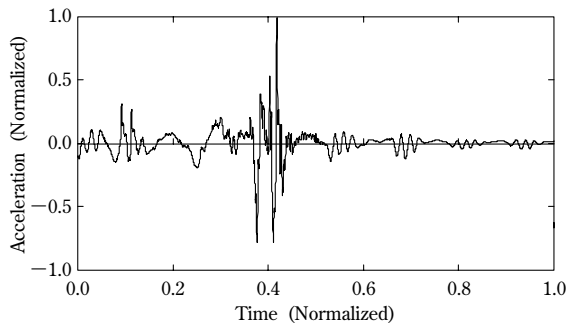


図9 キャブの加速度応答

Fig. 9 Acceleration response of cabin

むすび＝動的挙動シミュレーション技術による，油圧シヨベルのラフロード走行解析，平地走行振動解析，動安

定挙動解析の事例について紹介した。これらの技術により，試作段階で発生する振動問題や動的に発生する強度を設計の初期段階にて予測することができる。このため，試作機の完成度を向上させ，開発のスピードアップを図ることが可能となる。

#### 参考文献

- 1) 西垣一朗ほか，日本機械学会2004年度年次大会講演論文集(6). 2004-9-5-9, No.04-1, p.89-90.
- 2) ファンクションベイ(株). <http://www.functionbay.co.jp/>, (参照2011-05-22).
- 3) T. Suzuki et al., Proc. of ACMD, 2002, p.600-601.
- 4) 川端将司ほか，R&D神戸製鋼技報，2007, Vol.57, No.1, p.58.

(技術資料)

# クローラクレーンの軽量化による輸送性向上

## Weight and Width Reductions of Latticed Boom Crawler Cranes



前藤鉄兵\*1  
Teppei MAEDO



市川靖生\*1  
Yasuo ICHIKAWA



小林 豊\*1  
Yutaka KOBAYASHI



宮 英司\*1  
Eiji MIYA



山口拓則\*2  
Takunori YAMAGUCHI



濱口裕充\*2  
Hiromitsu HAMAGUCHI

Reduction of the transportation width to less than 3m and the transportation weight to less than 32 tonnes in Japan (45 tonnes overseas) has been achieved for latticed boom crawler cranes (LBCCs) of the 110 tonne and 250 tonne classes. The lifting weights of the 110 tonne and 250 tonne class cranes are comparable with those of our cranes already on the market. One of the important factors in this achievement is having reduced the weight of the booms without sacrificing lifting ability. To this end, structural analyses of the booms have been done using finite-element simulations, and their operational ability has been confirmed by a newly produced general-purpose LBCC.

まえがき＝ラチスブームクローラクレーン (Latticed Boom Crawler Crane, 以下LBCCという)は現在、コベルククレーン(株)の主力製品であり、世界トップクラスのシェアを有している。しかし、近年の円高の影響や中国メーカーの台頭により、吊上能力250t以下の汎用LBCCは競合状況が厳しくなっている。そのなかで、圧倒的な差別化でトップランナを目指すため、2011年施行のInterim Tier 4 (北米)やStage III B (欧州)などの排ガス規制対応を機に、新型の汎用LBCC21機種を一斉上市した。

商品コンセプトは、世界中で安全に安心して作業できること (環境・輸送・安全の規制適合)、効率的な作業・安全管理ができること (輸送性改良, 省エネ, 作業履歴管理, 構造最適化), および効率的な整備ができること (作業, メンテナンス履歴を活用したメンテナンスによる予防保全) の3点である。

商品コンセプトのなかで、構造開発に対しては輸送性の改良がとくに重要であった。LBCCを運搬する場合、本体を分解してトレーラに積載するのが一般的であるが、トレーラに積載可能な質量や輸送幅は国によって規制が異なる。また、欧州をはじめとする先進国の市街地などでは建設現場が狭所に計画されることもあり、より小さい輸送幅が望まれる。

そこで、従来機種に対して本体輸送幅の縮小化および輸送規制内への軽量化を進める必要があった。

本稿では、とくに構造開発の中で注力したクレーンの構造物の軽量化について報告する。

### 1. 開発目標

110t級LBCC (海外用) の既存機種, 他社競合機種および今回開発した新機種 (一例) の輸送性を併せて表1に示す。

新たに開発した汎用LBCCの分解輸送性目標は、下記のとおりである。

- ・輸送幅：2.99m 以下 (図1)
  - ・輸送質量：32t 以下 (日本), 45t 以下 (海外)
- ただし、吊上能力は従来機種同等とした。

表1 110t級(海外用)における従来機種, 新機種, 競合機種の輸送性比較

Table 1 Comparison of transportation abilities among current model, new model and other company's cranes (Overseas model of 110ton class)

	KOBELCO		Company L	Company T
	Current model	New model		
Weight of transportation (t)	40.7	36.4	36.7	37.0
Width of transportation (m)	3.2	2.99	3.5	3.6

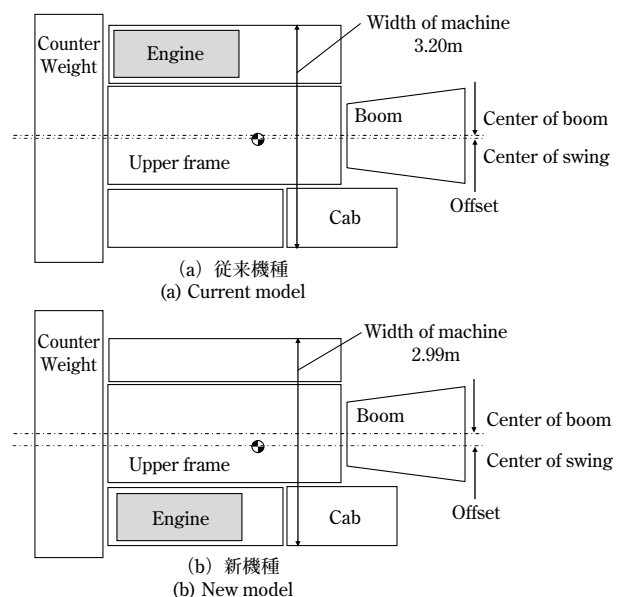


図1 従来機種 (a) と新機種 (b) の本体輸送幅  
Fig. 1 Comparison of machine width between current and new models

\*1コベルククレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*2技術開発本部 機械研究所



## 2. LBCCの構造

LBCCは、ブーム、キャブ、エンジンなどの主要部品を積載する旋回フレームとガントリーを含む上部本体、旋回ベアリングを介して旋回フレームと結合されるカーボデー、およびカーボデーに結合され接地するクローラを含む下部本体からなる(図2)。これらのなかでも、上部本体および下部本体は構造設計における最も重要な構成要素である。

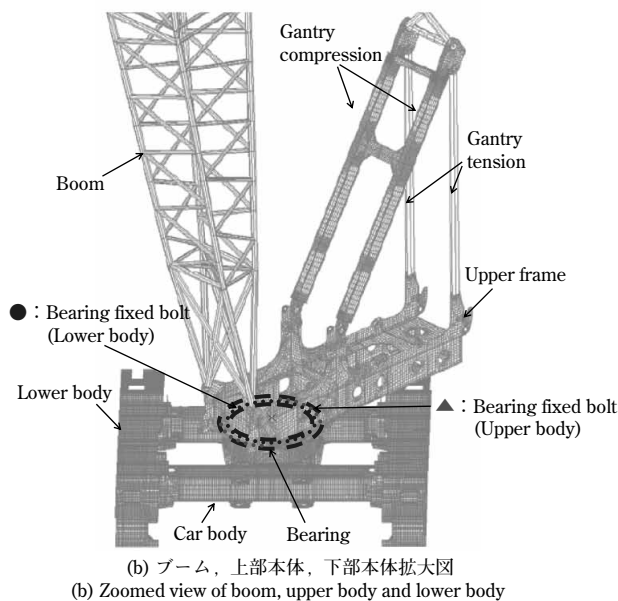
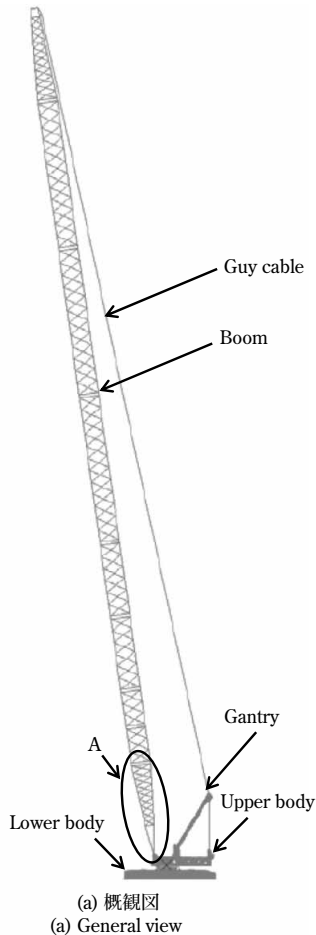


図2 LBCC(110t級)のFEMモデル  
Fig. 2 FEM model of LBCC (110t class)

## 3. 構造物の軽量化

本体の輸送幅を2.99m以下とする構造では、ブーム中心と旋回中心とのオフセット量が従来よりも大きくなる構成となり(図1)、本体に偏荷重が作用する。さらに、各国の輸送規制に適合するための軽量化によって剛性が低下した場合、ブームのたわみ量や旋回ベアリング固定ボルトの軸力が増大するという問題がある。

LBCCに求められる構造の主要件は、吊荷時の強度・剛性である。今回の開発では、開発目標とした輸送性能内で最大の断面を確保し、有限要素解析による構造最適化を経て最終的な構造や形状を決定することとした。例えば、ブームの最大側方たわみ時が強度上の検討要件となる110t級LBCCの場合、輸送性目標を達成するために、下部ブーム、旋回フレームおよびカーボデーの合計の質量は、従来機種に対して約3.1t軽量化することを目標とした。また、本体剛性の不均一性に起因して旋回ベアリング固定ボルトに生じる最大軸力が強度上の確認要件となる250t級LBCCの場合、輸送性目標を達成するために、旋回フレームとカーボデーを合わせた軽量化目標を、従来機種の約0.7t減とした。以下に、110t級と250t級の2つのモデルを対象とした軽量化について紹介する。

### 3.1 解析モデル

図2に示すLBCCのFEM(有限要素法)モデルにおいて、旋回フレーム、カーボデー、クローラ、ガントリーコンプレッション、ガイケーブルおよび旋回ベアリングは「シェル要素」、アタッチメントは「はり要素」、ガントリーテンションは「トラス要素」を用いてモデル化した。上部本体と下部本体とは、旋回ベアリング固定ボルトの中心位置において「はり要素」あるいは「剛体要素」により連結した。

このように、LBCCの構造全体を解析することにより、各部分構造物を単体で解析評価した場合と比べて、評価対象構造物以外の剛性や変形が評価できる。このため、旋回ベアリング固定ボルトなどの連結部近傍に対しても、実測との乖離(かいり)を少なく評価することができ、より適切な最小限の質量での補剛を検討できる。

110t級LBCCの荷重条件は、側方へのたわみが最大となるときのブーム長さ70.1m(最長)、作業半径12.0m、吊荷重19.6tとした。また、250t級LBCCの荷重条件は、旋回ベアリングに作用するモーメント荷重が最大となるときのブーム長さ15.2m(最短)、作業半径10.0m、吊荷重117tとした。

### 3.2 軽量化対策

#### 3.2.1 110t級LBCCの軽量化検討

110t級LBCCのFEMモデル(図2)による事前検証を行ったところ、剛性不足によって吊荷時のブームのたわみが許容値近傍まで増大することが明らかとなり、軽量化目標以内での補剛を検討した。本検討の対象部位は、図2(a)の下部ブーム(A部)および図2(b)の旋回フレームのブーム取付部であり、検討内容は下記のとおりである。

#### 1) ブームおよび旋回フレームの補剛検討

パイプ材のラチス構造で構成されるブームは、上部・

中間・下部で分割され、それぞれはピンによって連結されている。ブーム先端に作用する吊荷重は、ブームを支持するガイケーブルを介して旋回フレームや下部本体に伝わる。FEMモデルによる検証の結果、下部本体の補剛は効果が小さく、図2(a)に示すブーム根元部(A部)のメインパイプの外径や肉厚の増加、および図3に示す旋回フレームのブーム取付部近傍の補剛などがブームの側方たわみに対して効果的であることが分った(表2)。事前検証での補剛策を実機に反映し、実機試験にてブー

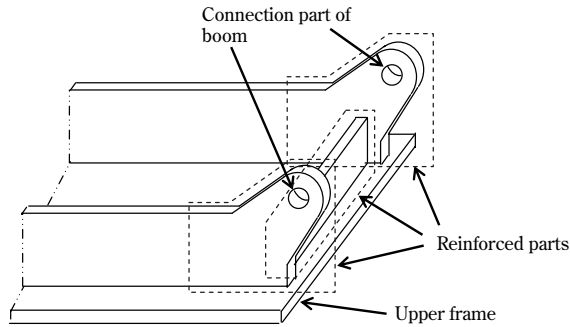


図3 旋回フレームの補剛箇所  
Fig. 3 Reinforced parts of upper frame

表2 ブーム、旋回フレーム、下部本体の補剛効果  
Table 2 Reinforcement effect of boom, upper body and lower body

Part of reinforcement	Reduction of displacement to mass of reinforcement
Boom	▲ 1.54mm/kg
Upper body	▲ 0.78mm/kg
Lower body	▲ 0.17mm/kg

ム先端のたわみ量を計測したところ、補剛前に対して14%低減し、許容値以下にできることを確認した(図4)。

### 2) 110t級LBCCの軽量化検討結果

前述の検討により、下部ブーム、旋回フレーム、およびカーボデーの合計質量を、従来機種に対して約3.1t軽量化することができた。

### 3.2.2 250t級LBCCの軽量化検討

250t級LBCCのFEMモデルを図5(a)に示す。このFEMモデルによる事前検証を行ったところ、本体のオフセット量の増大および軽量化の影響によって吊荷時の旋回ベアリング固定ボルトの軸力が許容値近傍まで増大することが分り、軽量化目標以内での補剛を検討した。本

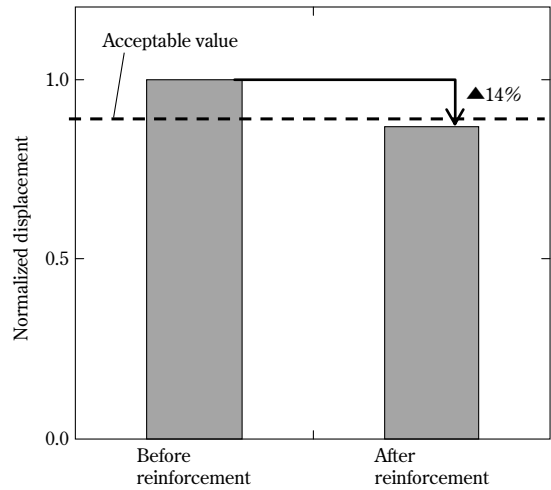
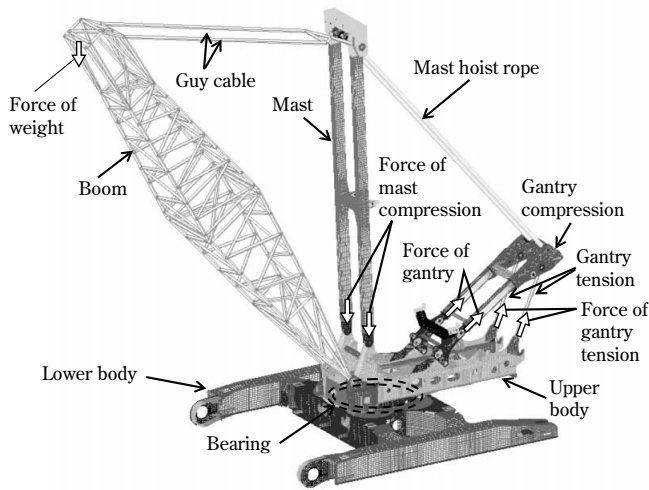
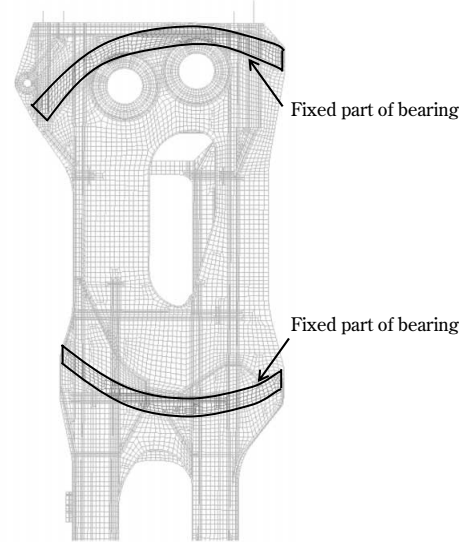


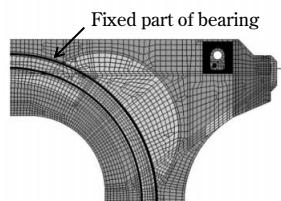
図4 補剛効果  
Fig. 4 Effect of reinforcement



(a) 概観図  
(a) General view



(b) 上部本体の旋回ベアリング固定部 (B部)  
(b) Bearing fixed part of upper body (part B)



(c) 下部本体の旋回ベアリング固定部 (C部)  
(c) Bearing fixed part of lower body (part C)

図5 LBCCのFEMモデル (250t級)  
Fig. 5 FEM model of LBCC (250t class)

検討の対象部位は、上部本体の回転ベアリング固定部（図5 (b), 以下B部という）および下部本体の回転ベアリング固定部（図5 (c), 以下C部という）であり、それぞれの補剛方法を検討した。

### 1) B部の補剛検討

B部は回転フレームと回転ベアリングで構成され、それぞれは固定ボルトによって連結されている。吊荷重は、図5 (a) のブームとそれを支持するガイケーブル、マスト、起伏ロープおよびガントリを介して、回転フレーム、回転ベアリングおよび下部本体に伝わる。このとき、回転ベアリング固定部にはガントリテンションからの作用力によるモーメント荷重が作用する。これにより、図6に示すように、本モーメント荷重に対し、ブームおよび回転フレームの中心が回転ベアリング中心に対してオフセットするため、D部のy軸まわりのモーメント荷重がE部より高くなる。D部はまた、ガントリテンション位置からの距離も長くなるため、x軸まわりのモーメントも高くなる。さらに、回転フレームのサイドプレートによって局部的に剛性の高い構造となるため、D部近傍の固定ボルトはより大きな軸力を受ける。

そこで、図5 (a) のFEMモデルを用いてボルト軸力を事前検討した結果、図6のF部を補剛することによってD部近傍の固定ボルトの軸力が低減することが分った。これは、F部の補剛によってD部近傍の剛性の不均一さが緩和されたためと考えられる。

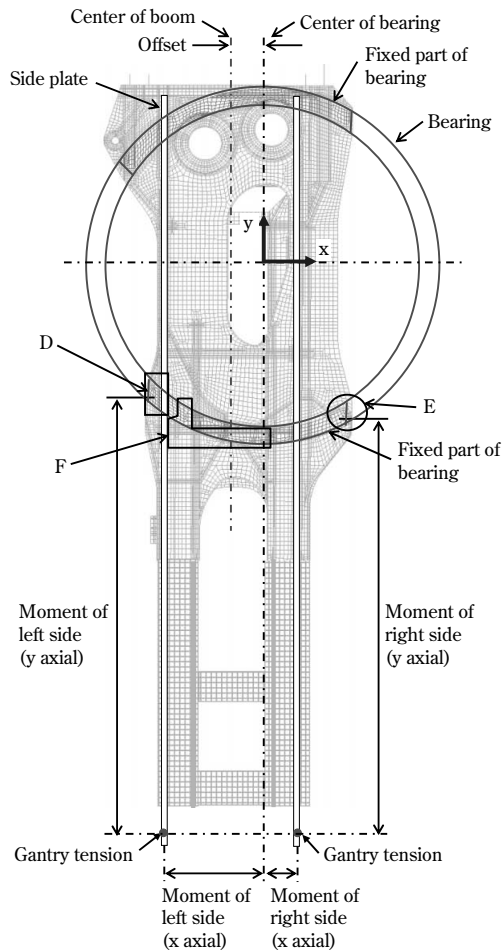


図6 回転ベアリング固定部まわりの補剛  
Fig. 6 Reinforcement of the bearing fixed part

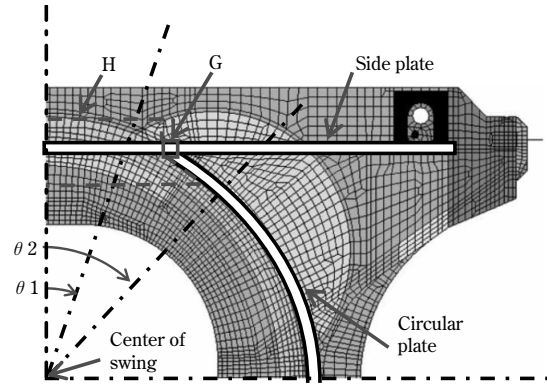


図7 下部本体補剛  
Fig. 7 Reinforcement of lower body

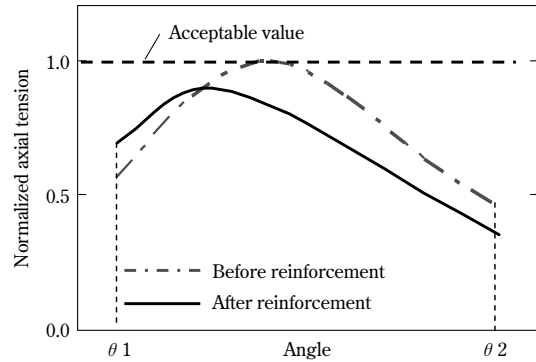


図8 補剛によるボルト軸力の低減効果  
Fig. 8 Effect of bolt axial tension reduction by reinforcement

### 2) C部の補剛検討

図7に示す下部本体においては、円環とサイドプレートによってG部の剛性は局部的に高くなっている。一方でG部は、ブームおよび上部本体から回転ベアリングを介して伝わるモーメントおよびスラスト荷重を受けることにより、G部近傍の回転ベアリング固定ボルトには大きな軸力が生じる。

そこでFEM解析を実施したところ、図7のH部を補剛することによってG部近傍で局部的に剛性が高くなる現象が緩和され、固定ボルトに生じる軸力が低減することが分った。この結果に基づいたH部の補剛と、上記1)で述べたF部の補剛によって、固定ボルトの軸力を許容値以下に低減させることができた（図8）。

### 3) 250t級LBCCの軽量化検討結果

前述の検討により、250t級LBCCの回転フレームとカーボデーの合計質量を従来機種に対し、約0.7tの軽量化目標を達成した。

むすび＝本稿では、250t級以下の汎用LBCCの軽量化および剛性確保を両立させる検討を紹介した。本稿で紹介した全体解析手法は汎用性が高いため、ブームが長く、上部本体と下部本体のサイズが大きく、変形量も大きくなる250t以上のLBCCにも適用できる。同様の取組により、他機種の軽量化および剛性の最適化も図っていききたい。



(技術資料)

# クローラクレーンの省エネ向上技術

## Energy Saving Systems for Crawler Cranes



山縣克己\*1

Katsuki YAMAGATA



道田隆治\*1

Takaharu MICHIDA

The new crawler cranes developed by KOBELCO CRANES CO., LTD., are equipped with systems for better fuel saving and reduced CO<sub>2</sub> emission. The systems consist of a fuel-saving mode, a high-speed winch mode, an auto idling-stop mode, and a positive control for hydraulic pumps. The new crawler cranes have achieved a fuel efficiency about 30% better than that of the cranes the company had already put on the market.

まえがき＝「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」(通称、オフロード法)が改正され、2011年10月よりディーゼル特殊自動車の排出ガス基準値の規制強化が開始された。移動式クレーンのクローラクレーンもこの規制の対象となっている。コベルコクレーン(株)は、この規制強化に適合する新型機として、エンジン排出ガス中の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)・非メタン炭化水素(NMHC)・粒子状物質(PM)を削減させた汎用クローラクレーンのフルモデルチェンジ機(図1)を開発上市した。環境性能を重視するコンセプトのもと、本開発機には環境負荷低減

を狙った省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能を織込んでおり、従来機比で約30%の燃料消費量低減を達成した(建築用途の一般的建方クレーン作業の場合)。本稿ではその省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能とその機能を達成した技術の概要を紹介する。

### 1. クローラクレーンの省エネ技術

従来のクローラクレーンは操作性や作動安定性が重視されており、省エネ性能はそれほど重視されていなかった。このため、コベルコクレーン(株)における従来のクローラクレーンに対する省エネ機能としては、無負荷時の動力消費を削減する仕組が組込まれていた程度であった。すなわち、油圧ポンプの回転トルクを  $T$  としたとき(式(1))、動力  $L$  は式(2)で表される。これらの式から、アクチュエータの操作レバーが中立時(アクチュエータが作動していない時＝無負荷時)に可変容量形油圧ポンプの容量  $q$  を最小化することによって、油圧システムの圧力損失を低減させてポンプ駆動圧を低減し、式(1)で示される油圧ポンプの回転トルク  $T$  を最小化することにより、無負荷時の動力消費を削減できることがわかる。

$$T = pq/2\pi \dots\dots\dots(1)$$

$$L = 2\pi TN/60000 \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

- $T$  : 油圧ポンプの回転トルク (N・m)
- $p$  : 油圧ポンプの圧力 (MPa)
- $q$  : 油圧ポンプの容量 (cm<sup>3</sup>)
- $L$  : 油圧ポンプの動力 (kW)
- $N$  : 油圧ポンプの回転数 (min<sup>-1</sup>)

今回開発した新型クローラクレーンには、省エネ・CO<sub>2</sub>排出削減を目的とした以下の4つのシステムを新たに搭載した。



図1 新型クローラクレーン  
Fig. 1 New crawler crane

\*1 コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部

- ①省エネモード
- ②高速ウィンチモード
- ③オートアイドルストップシステム
- ④油圧ポンプポジティブコントロールシステム

これら以外にも、エンジン単体での燃料消費特性の改善や油圧機器・配管の圧力損失低減などによる省エネを織り込んでいるが、本稿では上記4つの新システムについての詳細を紹介する。

## 2. 省エネモード

図2に今回開発した新型クローラクレーンに搭載した1種類のエンジンの燃料消費率特性を示す。一般的に、アクチュエータの最高速度はエンジン回転数が最高ときに得ることができる。しかしながら燃料消費率の面ではエンジン回転数が最高ときは良くなく、最大トルクが得られるエンジン回転数付近において燃料消費率が相対的に良いとされている。今回搭載したエンジンもその特性を示している。

そこで、エンジンの燃料消費効率が良好な領域において油圧ポンプを駆動させることを目的に、エンジンの最高回転数を制限する「省エネモード」(商品名「Gエンジン」)を新たに設定搭載することによって省エネを図った。

一方で、省エネモード選択時でもクレーン作業効率を悪化、すなわちウィンチの巻上げ/巻下げの最大速度を低下させることは避けたい。そのため、主アクチュエータ用油圧ポンプの容量を従来機よりも大きくするとともに、最大容量が2段階に切換可能な容量制御特性(図3)を持つ油圧ポンプを採用した。さらには、式(3)の関係となるように最大容量の切換えを設定しており、省エネモード選択時には最大容量  $q_1$  側に切換え、標準モード選

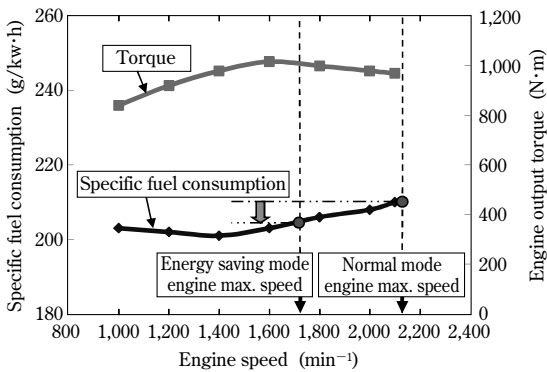


図2 エンジン燃料消費率特性  
Fig. 2 Specific fuel consumption of engine

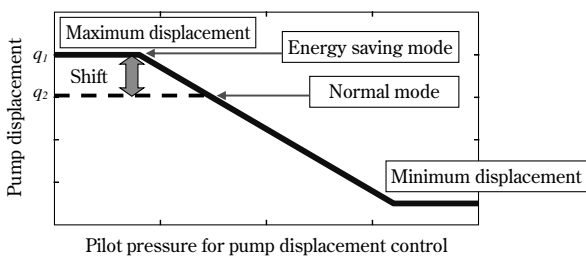


図3 最大容量2段階型ポンプ容量特性  
Fig. 3 Pump displacement characteristic of two max. position control type

択時の最大容量 ( $q_2$ ) でエンジン最高回転 ( $N_2$ ) 時に得られる油圧ポンプ吐出流量 (定格流量)  $Q$  と同じ吐出流量が省エネモード選択時の制限されたエンジン回転数  $N_1$  においても得られるようにしている (図4)。

$$q_1 N_1 = q_2 N_2 = Q \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $q_1$ : 省エネモード時のポンプ最大容量 ( $\text{cm}^3$ )

$q_2$ : 標準モード時のポンプ最大容量 ( $\text{cm}^3$ )

$N_1$ : 省エネモード時のエンジン最大制限回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )

$N_2$ : 標準モード時のエンジン最大制限回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )

$Q$ : 油圧ポンプ定格流量 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )

クローラクレーンの油圧機器を駆動する代表的な油圧システムの模式図を図5に示す。今回は走行装置やウィンチ(主巻き、補巻き)を駆動する油圧ポンプを大容量化して省エネモードを設定したので、一般的なクレーン作業や連続走行時において、その省エネ効果が得られるようにしている。

省エネモードと標準モードを切換可能なシステムとして構成した。これは、エンジン最高回転数を制限することによってエンジン出力が低下するという短所があるためであり、エンジンのフル出力が必要なヘビーデューティ作業に対しては、エンジン出力を優先する標準モードをパワーモード扱いとして選択できるようにするためである。

省エネ効果の確認のため、建築用途の一般的建方クレーン作業を想定したエンジン平均負荷率20%時の燃料消費率を実機計測した。271kWのエンジンを搭載した機種

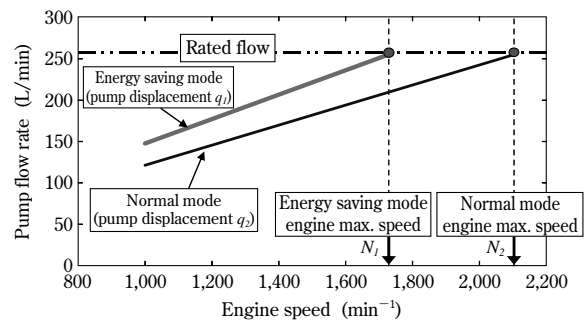


図4 省エネモード油圧ポンプ流量特性  
Fig. 4 Pump flow rate characteristic in energy saving mode

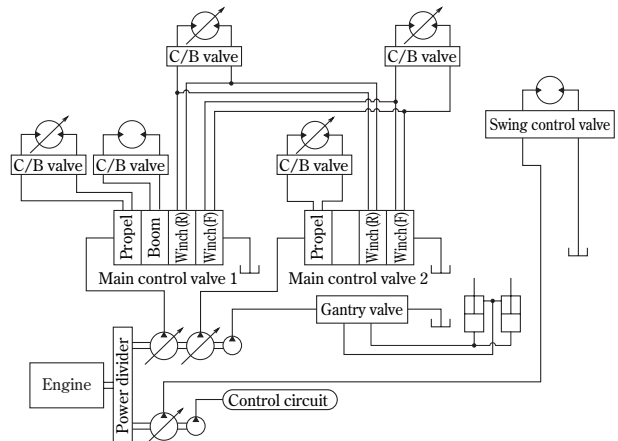


図5 クローラクレーン油圧システム図  
Fig. 5 Hydraulic system of crawler crane

においては、標準モードで35.7L/h、省エネモードで31.7L/hであり、省エネモードによる省エネ効果が約11%の燃費低減となっている。また、213kWのエンジンを搭載した機種においては、標準モードで32.5L/h、省エネモードで28.0L/hであり、省エネモードによる省エネ効果が約14%の燃費低減という結果が得られている。

### 3. 高速ウィンチモード

従来のクローラクレーンは、吊荷負荷が軽い場合でも、エンジンを最高回転数にセットしてウィンチを最大速度で作動させ、巻上げ／巻下げ時間を短縮していた。一方、巻下げ時の失速降下を防止するため、ウィンチ油圧回路にはカウンタバランス弁と呼ばれるバルブが装着される。このバルブは低圧の供給圧で開弁し、吊荷負荷に応じたブレーキ圧力を出口側に発生させることによって失速降下を防止するために設けたもので、小さな動力で供給流量に応じた動力速度での降下を可能とする機構である。

しかし、負荷変動の影響などから作動が不安定になり、巻下げ時にウィンチがハンチングしやすい。このため、実際にはバルブの開弁方向にダンピング性能が付与され、安定性を優先して応答性が犠牲にされているのが一般的である。この結果、カウンタバランス弁の開弁に時間がかかり、吊荷負荷が軽い場合でも出口側の流路が絞られてしまう。エンジンを最高回転数に設定してウィンチを最大速度で巻下げ駆動した時、出口側の流路に流れる油量が多いことから油圧モータへの供給入口にブースト圧力が発生する。このブースト圧力によって油圧ポンプが高圧で駆動（図6◆プロット）される結果、不要な動力を発生させて巻下げ時の燃料消費を悪化させていた。すなわち、「ハンチングさせない」という操作性能を確保するために無駄なエネルギーを消費させていたことになる。

「高速ウィンチモード」（商品名「G ウィンチ」）はこの点に着目したものであり、吊荷負荷が軽い場合は、エンジンが低回転であってもウィンチを最大速度と同等の速度で駆動（図7）できるようにする機能である。具体的には、図8に示すような特殊な中間容量特性が設定された3段容量切換形のウィンチ用油圧モータを採用し、エンジンが低回転で油圧ポンプ吐出流量が少なく、油圧モータへの供給流量が少ない場合であっても、油圧モータが高速回転可能な容量設定ができるようにした。通常時に

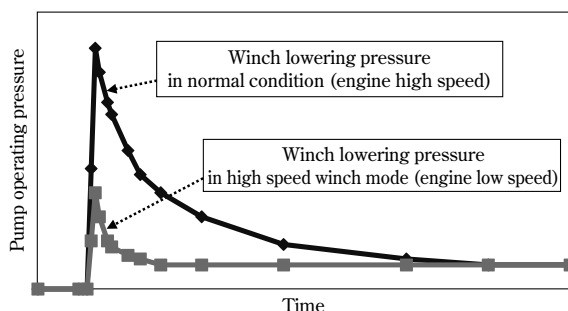


図6 巻下げ時の油圧ポンプ駆動圧力  
Fig. 6 Pump operating pressure in winch lowering

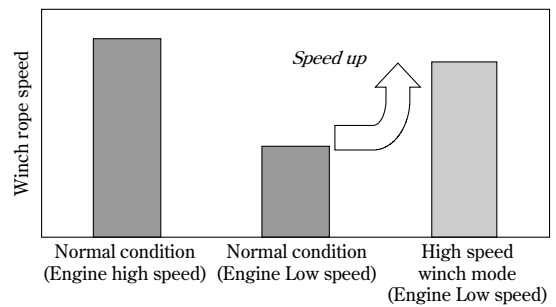


図7 高速ウィンチモードでのウィンチ速度  
Fig. 7 Winch speed in high speed winch mode

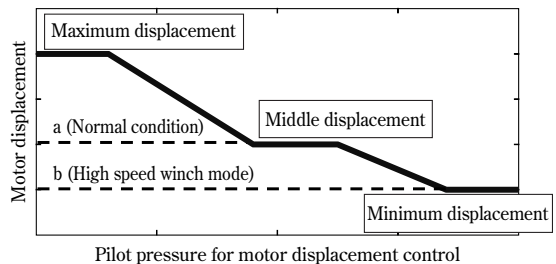


図8 3段容量切換型の油圧モータ容量特性  
Fig. 8 Motor displacement characteristic of three position displacement control type

は油圧モータの容量を中間の a 位置に設定してウィンチの最大速度が出るようにし、高速ウィンチモード時では最小容量の b 位置に設定してウィンチの最大速度が出るようにしている。

本油圧モータの採用により、吊荷負荷が軽い巻上げ／巻下げ操作時には、エンジンを最高回転数にセットすることなくエンジン低回転でもウィンチの最大速度が得られるようになる。また、エンジン低回転時には少ないポンプ吐出流量がカウンタバランス弁出口側の流路に流れるだけであり、油圧ポンプに作用するブースト圧力は低い。このため、油圧ポンプは低圧で駆動される（図6■プロット）とともに、エンジンは低回転のまま巻上げ／巻下げの高速作業ができる。さらに、前述の式(1)で示したように、油圧ポンプ駆動圧力の低減によって油圧ポンプの回転トルクが低下するため、相応の燃料消費が削減できる。

実機計測結果では、吊具（フック）のみの巻下げ時の瞬間燃費において、燃料消費を60～80%程度低減できることが確認できた。

### 4. オートアイドルストップシステム

サイクル荷役作業を除いた一般的なクレーン作業の場合、クレーン作業間の待機時間が長い。オートアイドルストップシステムは、クレーンが待機状態になったことをコンピュータが判断し、エンジンを自動的に停止させるものである。このシステムにより、待機中の不要な燃料消費や排出ガス（CO<sub>2</sub>）を削減させることができる。クレーン作業は安全に十分に配慮する必要があるため、安全条件を満たした待機状態にある場合にのみ、オートアイドルストップ開始のカウントダウンを運転室のモニタ上に表示する。その後、オペレータがキャンセル操作を行わないままカウントダウンが完了したとき



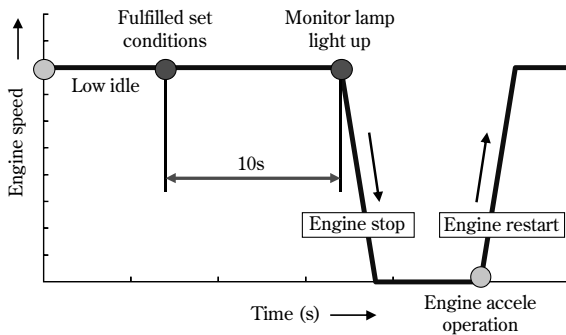


図9 オートアイドルストップシステム  
Fig. 9 Auto-idling-stop system

(ここでは10秒後とした), エンジンを自動停止させる。エンジンを再始動させたい場合はアクセル操作グリップを操作(回転)するだけで再始動できるようにしており、待機状態からの速やかな復帰を可能としている(図9)。

稼働機の一般的なクレーン作業を調査した結果、エンジンの全駆動時間における待機時間の割合は50~75%であることが多いことがわかっている。待機状態が75%の場合、その半分の37%をオートアイドルストップによってエンジン停止できたとして試算した結果(建築用途の一般的建方クレーン作業を想定し、作業中のエンジン平均負荷率を20%と仮定した場合)、最大で約15%の省エネ効果が期待できる。

## 5. 油圧ポンプポジティブコントロールシステム

1章で述べたように、従来のクローラクレーンはアクチュエータの操作レバーが中立時のみで可変容量形油圧ポンプの容量を最小化する省エネシステムが搭載されていた。このシステムでは、アクチュエータの操作レバーが操作されている時には、油圧ポンプが最大容量となっていた。また、アクチュエータの作動方向や速度制御用のコントロールバルブによって流量制御(加速や減速制御、微速制御)されている場合には、余剰流量によるエネルギーロスが発生していた。

今回、ポジティブコントロールシステム(図10)を導入し、可変容量形油圧ポンプの容量制御をさらに高度化

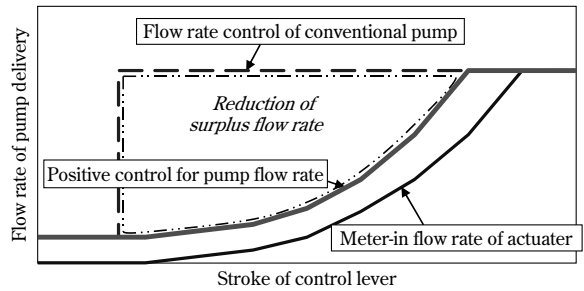


図10 油圧ポンプのポジティブコントロールシステム  
Fig.10 Pump delivery flow rate positive control system

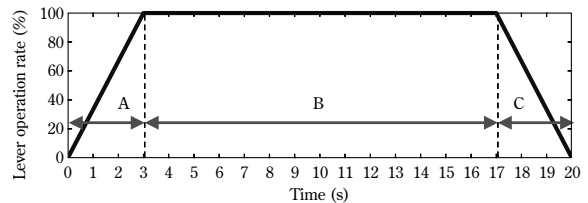


図11 ウィンチ巻上巻下の操作パターン  
Fig.11 Winch operation pattern

させた。これにより、操作レバーの操作量に応じたアクチュエータ供給必要流量に見合うだけの流量を油圧ポンプが吐出するように制御することができる。よって、作業操作には不必要な油圧ポンプ吐出流量の余剰分を最小化することができ、操作レバー操作による速度制御操作時のエネルギーロスを最小化できるようにした。

実機を用い、図11のようなウィンチ操作パターンでの燃費を計測することによってポジティブコントロールシステムの省エネ効果を確認した。その結果、区間Aと区間Cの速度制御操作領域で燃費低減効果を発揮し、この操作パターン(区間A+区間B+区間C)において約7%の燃費低減効果が得られた。

むすび=新型クローラクレーンに搭載した省エネ機能・CO<sub>2</sub>排出削減機能の概要を紹介した。今後とも、環境負荷低減に向けた要求はますます高まっていくと考えられる。社会に貢献するとともに、ユーザーズに応える製品をご提供するため、さらに進化させた環境負荷低減技術の開発に取り組んでいく所存である。

(技術資料)

# 大型クローラクレーンたわみ評価技術の高度化

## Bending Analysis and Simulation of Crane Booms for Crane Weight Reduction



市川靖生\*1  
Yasuo ICHIKAWA



前藤鉄平\*1  
Teppei MAEDO



山口拓則\*2  
Takunori YAMAGUCHI



小林 豊\*3  
Yutaka KOBAYASHI



村田朝彦\*3  
Tomohiko MURATA

The weight reduction of crawler cranes is one of the most important and urgent issues because of severe weight limitations on heavy vehicles; hence it is necessary to solve the apparently contradictory conditions of increasing the boom strength and decreasing the total crane weight. This paper describes the results of an investigation into the method of evaluating boom bending using lasers for three-dimensional measurements and the accurate prediction of boom bending using simulations. It also clarifies various factors that influence the accuracy of measurements. A simple but useful technique for evaluating the boom rigidity is also described.

まえがき＝ラチスブームクローラクレーン (Latticed Boom Crawler Crane, 以下LBCCという) は、建築工事から各種プラント、橋梁架設など様々な工事に用いられ、吊上げ能力50t程度から1,000tを超える機械が用途に合わせて使い分けられている。コベルコクレーン(株)はLBCCの生産台数で世界トップクラスのシェアを有しており、吊上げ能力300t未満の汎用LBCCのうち100t以下の機械を米国最大手のManitowoc社にOEM供給するなどグローバルに展開している。一方で、300t以上の大型機は、かつては建設需要が大きい日本国内向けをターゲットとした製品のためのラインナップであったが、近年では2007年にSL6000 (550t吊)、2009年にSL4500 (400t吊)と海外のクレーン規格に対応したグローバル機を上市し、ラインナップをそろえることでシェア拡大を図っている。

LBCCは、吊上げ能力が大きくなると機械本体の質量も大きくなる。例えばSL6000では、長さ24mの基本ブーム姿勢で230tのウェイトを含めると424tもの質量となる。この本体の輸送時は、世界各地の輸送規制に対応する大きさまでフレームを分割してトレーラやトラックに搭載する。機械が大型化するほど分割数は多くなり、組立・分解に時間がかかる。このため、本体フレームを極力軽量化し、分割数を減らすことは、商品力を強化することにつながる。

またアタッチメント部分、とくにラチスブームは、吊上げ能力を高めるためには相応の剛性と強度が必要となる。一方で、質量が重くなると吊上げ能力を減らす、あるいはバランス確保のため本体を大きくするなど、クレーンの性能に影響するうえに、輸送面で高さならびに幅の制約を受ける。すなわち、限られた空間に収めるといふ制約のなかでの高強度化と軽量化が求められる。この

ためLBCCは、本体フレームおよびアタッチメントともに、高張力鋼を活用するなどの軽量化にも重点をおいた開発が行われている。

ブームの長さは大型機になる程長くなり、100mを超えるようなブーム構成がある。そのような長尺ブームでは、強度面だけではなく剛性の確保、すなわちたわみ量の制御も重要となる。具体的には、ブームをブーム根元部分からの片持ちばりと仮定すると、たわみは長さの3乗に比例することから、長尺になるにつれてたわみは急激に大きくなる。また、たわみによって載荷点が移動し、作用するモーメントが大きくなってたわみがますます増加する非線形性が加わる。さらに、クレーンの各接続部分に存在するがたによってもたわみが増加する。

これまで、設計段階での精度の良いたわみ評価手法がなく、実機テストによる確認に頼っていたが、このたび、剛性評価技術の一つであるたわみ評価技術の高度化を試み、さらにたわみ評価を簡易化する手法を検討したので紹介する。

### 1. たわみ評価技術の検討

移動式クレーンの規格は各国あるいは地域で異なり、日本の移動式クレーン構造規格、北米のASME規格、欧州の移動式クレーンEN規格などがある。日本の移動式クレーン構造規格<sup>1)</sup>は強度面の規定が主であり、「構造部分は、壁面座屈、著しい変形等を生じないように剛性が保持されているものでなければならない」と、剛性に関しては詳細には規定されていない。一方、ASMEで適用されているSAE規格<sup>2)</sup>では剛性が規格化されており、ブーム先端に吊荷重の2%に相当する横荷重(図1に示したクレーン側面図の紙面に垂直な方向(Y))を作用さ

\*1コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*2技術開発本部 機械研究所 \*3コベルコクレーン(株) 開発本部 クレーン開発部

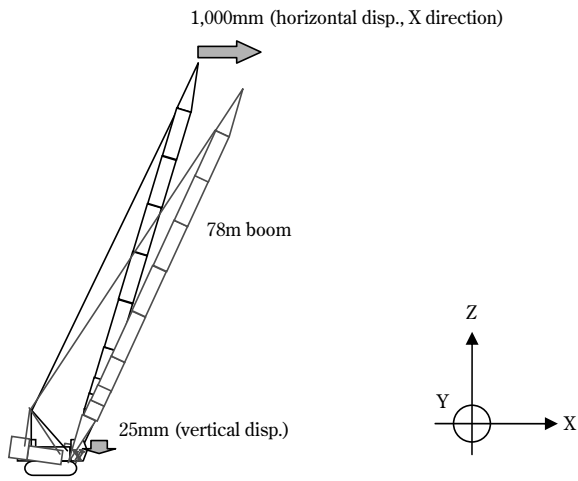


図1 本体たわみによるブーム先端のたわみ例

Fig. 1 Bending displacement of the boom top by upper and lower frame bending

せたときのブーム先端の横荷重方向たわみ量はブーム全長の2%以下と規定されている。

軽量でかつ剛性（たわみ）の規定を満たすブーム構成とするためには、計算によってたわみ量を把握しておく必要がある。しかしながら、ブームのたわみ量には、ブーム自体の剛性だけでなく、ブームを支える本体部分の剛性も寄与している。例えば、長さ78mのブームで荷を吊ることによってブームの根元部分（本体フレームの前方側）が回転中心を軸として25mm沈み込んだとしたとき（図1）、ブーム先端は約1m前方にたわむ。また、本体剛性のほかに、結合ピンや回転ベアリングといった各構成部品間に存在するがたによる変形も考慮する必要がある。

これまでのたわみ評価では、本体部分の剛性に対して過去の実機テスト結果を基にした値を設定し、ブームのたわみ量を数値解析で求める手法を採ってきていた。このため、実機テストによる最終確認・評価を行う必要があった。また、この手法では過去の実績に基づく仮定を使っていることから、構造を大幅に変更する場合、あるいはこれまでにない能力の機械を開発する場合、数値解析での評価が困難である。

そこで、最終目標として数値解析による事前評価が可能となることを目指し、(1) 実機計測手法の高精度化によるクレーンの各部位でのたわみの実態把握 (2) 解析によるたわみ解析精度に及ぼす誤差要因の分析、(3) 剛性評価の簡易化検討、の三つの観点から検討を行った。

## 2. たわみ予測精度向上に向けた取組

### 2.1 たわみ計測手法の高精度化と各部位のたわみ実態把握

SAE規格による横たわみを確認するにあたって、これまでは、ブームの根元部分にトランシットを設置して先端部分に直定規をブームに直角に立て、横荷重を作用させた際の直定規の数値を読取ることによってたわみ量を計測してきた。この方法では、計測の基準位置がブームの根元部分にあることから横荷重を作用させた際にこの基準位置自体も移動する。このため、ブーム単体のたわ

みを計測できる利点がある反面、1方向の変位しか計測できないうえに定規自体のたわみもあって精度も十分とはいえない。

そこで今回、レーザ計測器を用いることによる計測精度の向上を試みた。SL4500（400t吊）（図2）を対象に、ブーム長さ78m、作業半径11.1mの条件で無負荷（フックおよびロープの自重9tは载荷）から98.6tの荷重を吊った際のブームの前後方向たわみ、および本体フレームの鉛直方向たわみを計測した。前段では横たわみについて主に述べたが、ここでブームの前後方向、およびフレーム鉛直方向のたわみに着目したのは、ブームのたわみに及ぼす本体部分の剛性の影響、ならびに各部のがたの影響を検証するためである。

レーザを用いた3次元計測を導入することにより、計測精度を向上（計測距離100mで±2mm程度の誤差）させ、クレーンの前後（X）方向、横（Y）方向、鉛直（Z）方向それぞれのたわみを計測できる。また、ブームのみならず本体フレームの各部位を計測することにより、ブーム先端たわみに影響を及ぼす要因を分離することも試みた。図3に本体周りの計測位置例（図中の○部分）を示す。

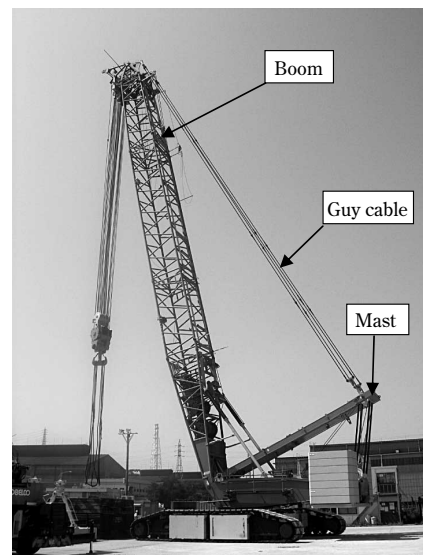


図2 検討の対象としたLBCC(SL4500)

Fig. 2 LBCC made into the object of examination

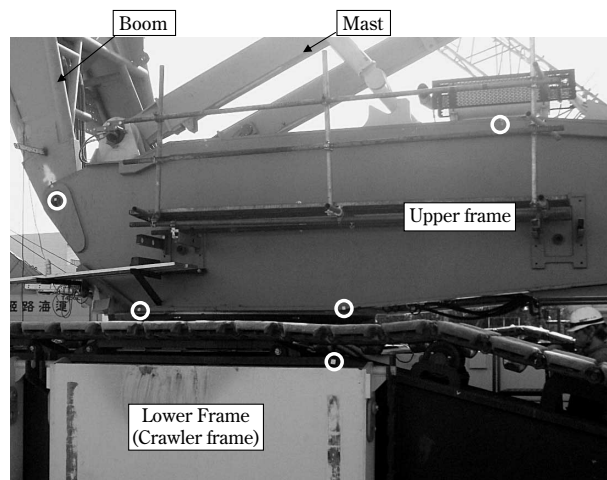


図3 レーザ計測位置例（○部分）

Fig. 3 Example of measured position



## 2.2 たわみ解析の精度に及ぼす要因分析

実測と解析との対比のため、実機計測に対応した有限要素法（以下、FEMという）による解析モデルを作成した（図4）。本体フレーム部分はシェル要素でモデル化した。上部フレームと下部フレームの間の旋回ベアリング部は、旋回ベアリングボルト相当の断面特性や物性をもたせたはり要素を用いて結合した。またアタッチメントは、ブーム、ガイケーブル、およびマスト部分にはり要素（一部はトラス要素）を用いた。このFEMモデルを対象に、クローラ下部に配置されたローラに相当する部分を拘束してブーム先端に荷重を作用させたときの幾何学的非線形（大変形）を考慮した弾性解析を行った。

変位の顕著な、(A) ブーム先端部分の前後たわみ、(B) ブーム根元部分の鉛直たわみ、および(C) 上部フレーム後端における鉛直方向変位量の計測結果と解析結果をそれぞれ比較した結果（図5）、解析値は実測値の65～78%であった。この30%前後の差が生じた原因としては、実機での本体フレーム部分、とくに旋回ベアリングのがたがまず考えられる。旋回ベアリングのがたによって、図6に示したように上部フレームと下部フレームとは鉛直方向変位量に差が生じる。表1にその変位量をまとめた。実機では荷重によって上部フレームは0.55度、下部フレームは0.36度傾斜し、0.19度の角度差が生

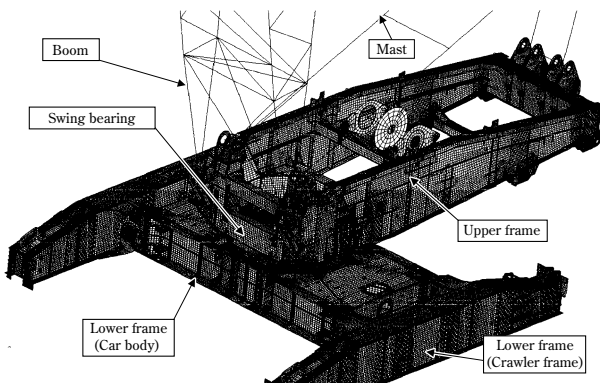


図4 解析モデル（本体フレーム周り抜粋）  
Fig. 4 Analysis model (extract of a main frame)

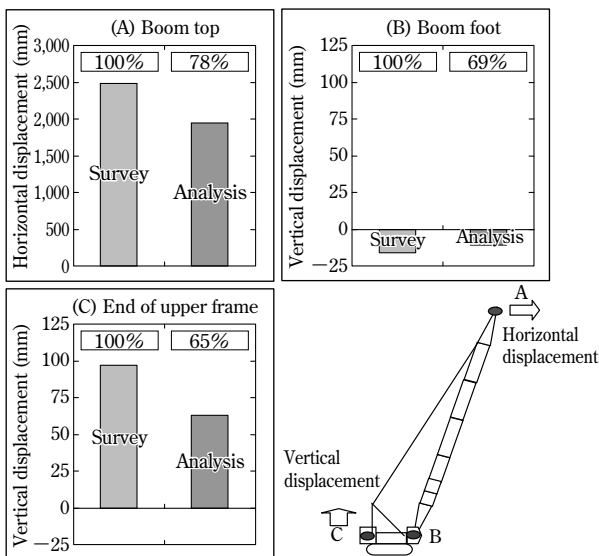


図5 実測と解析のたわみ量比較  
Fig. 5 Comparison of displacement between survey and analysis

じていた。一方、解析では上下部フレームの傾斜角度差が0.1度であり、がたが主要因と思われる差が生じていた。このため、数値解析で旋回ベアリング部分に0.09度相当のがたを導入して再評価を行った。その結果を図7に示す。ベアリング部分のがたを考慮することにより、実測値との差は15%以内となった。

残りの差を検証するため、ブーム先端変位量を、ブーム自体の変形（たわみ）によるもの、上部フレームの回転によるもの、および下部フレームの回転によるものに分離した（図8）。この図から、解析では下部フレームの変形が実測より小さいことが分かる。これは、地面と接するクローラの一部が荷重によって浮き上がる現象、

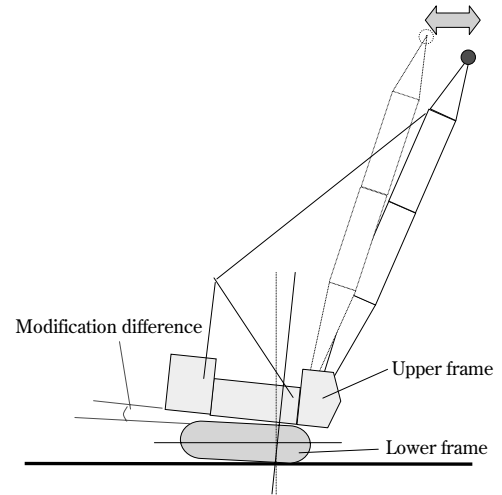


図6 旋回ベアリング部ガタの概念図  
Fig. 6 Schematic drawing of swing bearing part modification difference between upper and lower frame

表1 旋回ベアリング部のガタ影響検証  
Table 1 Influence verification of swing bearing part modification difference between upper and lower frame (unit : deg.)

	Survey	Analysis
1 Upper frame	0.55	0.37
2 Lower frame	0.36	0.27
Modification difference between 1 and 2	0.19	0.10

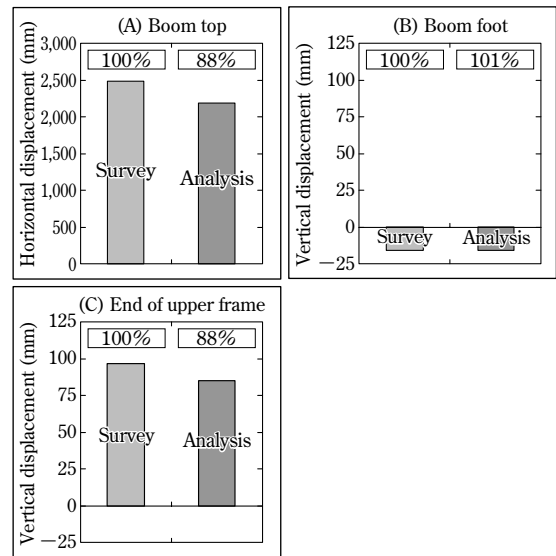


図7 実測と解析のたわみ量比較（解析値ベアリングガタ考慮）  
Fig. 7 Comparison of displacement between survey and analysis (Crevice between swing bearing parts is reflected in analysis)

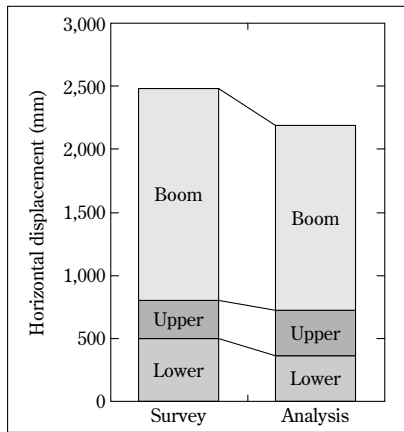


図8 ブームたわみの要因内訳  
Fig. 8 Factor analysis of boom bending

あるいは地盤の変形などの影響が考えられる。すなわち、たわみの評価にあたっては、がたや接地条件の変化を考慮していないことによって実測より過小評価していることが分かった。また、がたや接地条件変化を考慮してたわみ計算を行う一方で、考慮する値の定量化を今後の機種開発の中で行っていく必要が判明した。

### 3. 剛性評価の簡易化に向けた取組

前章において、たわみ解析の精度向上に向けた取組について述べたように、とくに本体部分は、精細で膨大な数のシェル要素を用いたFEMモデルを作成することによって実測値と同程度の評価ができる。しかしながらこの手法は、本体構造が固まるまではFEMモデルが作成できず、たわみ量の評価ができないという欠点がある。

このため、本体部分を簡易なはり要素を用いてモデル化することによってたわみを評価することを試みた。具体的には、従来「シェルモデル」を作成していた本体側

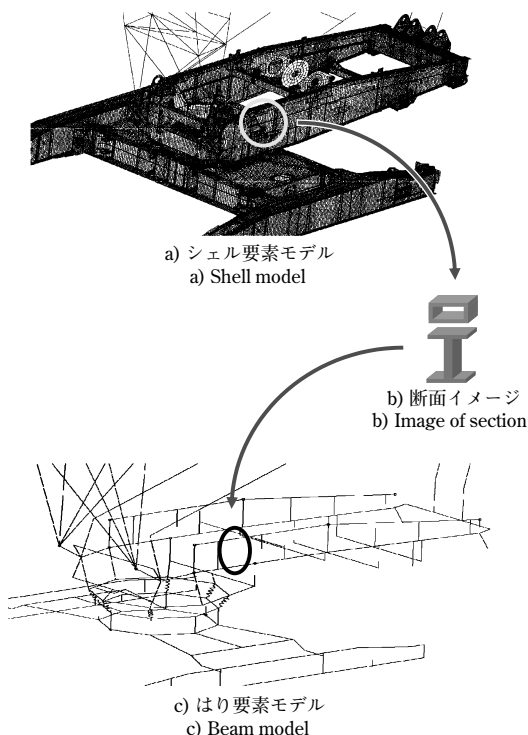


図9 はり要素を使ったモデル化手法  
Fig. 9 Modeling method using beam elements

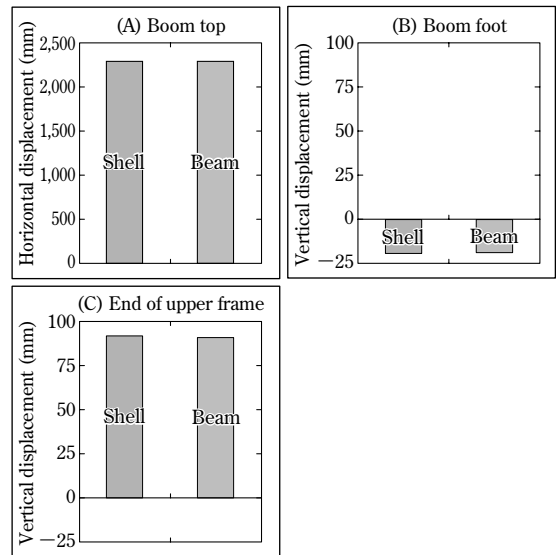


図10 シェルモデルとはりモデルによる解析結果比較  
Fig.10 Comparison of analysis results between shell and beam elements

板部分(図9(a))に対しては、断面形状が異なる2本のはりが上下に接合された構造と考え(図9(b)),「シェルモデル」と等価な剛性を持った「はりモデル」(図9(c))を作成する。他の部分も同様にして本体フレーム全体の「はりモデル」を作成する。この手法は本体構造が固まっていない段階でも、仮の面げ剛性を設定してたわみ計算を行うことができ、本体構造の必要な面げ剛性を決めることが可能である。

作成した「はりモデル」と「シェルモデル」との比較結果を図10に示す。解析モデルの違いによる差は5%程度であり、「はりモデル」を使った手法でもたわみ評価が可能であることを確認した。モデル化が容易な「はりモデル」を作成することによってたわみの評価が可能となったことから、今後は評価作業を簡易化することができるとともに、本体構造が固まる前の開発初期段階での評価が可能となる。

むすび=本稿では、実機クレーンのたわみに影響を及ぼす要因の分析、たわみの数値解析を行うにあたって考慮するポイント、およびたわみ評価の簡易化手法についてまとめた。

これまでの設計では、ブームのたわみ予測精度が十分ではなかったために、実機テストによる確認に頼ってきたが、がたなどを考慮することによって数値解析による十分な精度での事前予測を可能にした。

数値解析のみでたわみを評価するには、がたや接地条件の変化量の定量化、あるいは簡易手法においても様々な構造があるなかでどのように簡易化するかなど課題は多い。今後の開発の中でこれらを明確にし、精度と使い勝手の良さを備えたクローラクレーンのたわみ評価技術を確立していく所存である。

### 参考文献

- 1) 労働省告示第135号, 移動式クレーン構造規格, 第1章構造部分等, 平成7年(1995)
- 2) SAE J1093 Revised MAR94, Society of Automotive Engineers.

(解説)

## 中間4次排ガス規制対応クローラクレーン「Gシリーズ」に標準装備の遠隔稼働管理システム

### Features of Remote Operation Management System for "G series" Crawler Cranes, KCROSS, Adapted to Exhaust Emission Standard, Interim Tier 4/ Stage III



水谷元彦\*1(工博)

Dr. Motohiko MIZUTANI

The remote operation management system for crawler cranes, KCROSS, was designed as a servicing tool for the use of KOBELCO CRANES CO., LTD., but it is widely used by customers for safe operation and fuel savings. This paper describes the features of KCROSS, including global services, the remote monitoring of crane operations, the remote diagnosis of failures, and new functions including the reduction of exhaust emissions so as to comply with regulations. It is now installed as a standard system in "G series" crawler cranes.

まえがき＝コベルコクレーン(株)は、2007年12月より国内向け出荷の全てのクローラクレーンに対する遠隔稼働管理装置の標準搭載を開始した。以降、稼働機管理のツールとして各種情報をお客様に提供し、また日々のサービス活動にも活用している。

本解説では、2011年度に販売を開始した中間4次排ガス規制対応のクローラクレーン「Gシリーズ」に標準搭載された遠隔稼働管理システム「KCROSS」(KOBELCO Crane Remote Observation Satellite System)の新機能を中心に報告する。

#### 1. 遠隔稼働管理システム「KCROSS」の普及・活用状況

##### 1.1 「KCROSS」のシステム概要

「KCROSS」は移動式クレーンに特化した稼働管理、とくに安全管理や長期間の使用をサポートするメンテナンス支援を目的に2008年に運用を開始したシステムである。コベルコクレーン(株)の主力販売機種であるクローラクレーンでの「KCROSS」の構成を図1に示す。稼働情報は全て過負荷防止装置に集約され、エンジンが起動または停止するごとに、ITコントローラと呼ばれる送信機能とデータロガー機能を持つ専用コントローラ内に積算され、当日の23時59分59秒までの情報が翌日未明に夜間バッチデータとしてWEBサーバに送信される。

一方、警報や故障などの情報は、発生都度、過負荷防止装置からITコントローラにデータが送信され、機械停止につながる重要な故障情報および安全装置の故意の解除動作信号は即時にWEBサーバに送信される。また、

即時に送信されなかった警報および軽微な故障情報は、夜間バッチデータと一緒に送信される仕組みとなっている。

##### 1.2 「KCROSS」のサービス展開状況

2008年4月に国内初のクレーン遠隔稼働管理サービスを開始し(図2)、導入後4年を経過した<sup>1)</sup>。2011年5月からは北米地域においてもサービスを開始し(図3)、現在、国内と北米地域合わせて約750台のクローラクレーンおよびホイールクレーンから日々稼働情報が送信されている。これらの稼働情報は、日頃のサービス活動支援のみならず、安全作業や省エネの指標としてお客様にも積極的に活用され、効果を上げている<sup>2)</sup>。

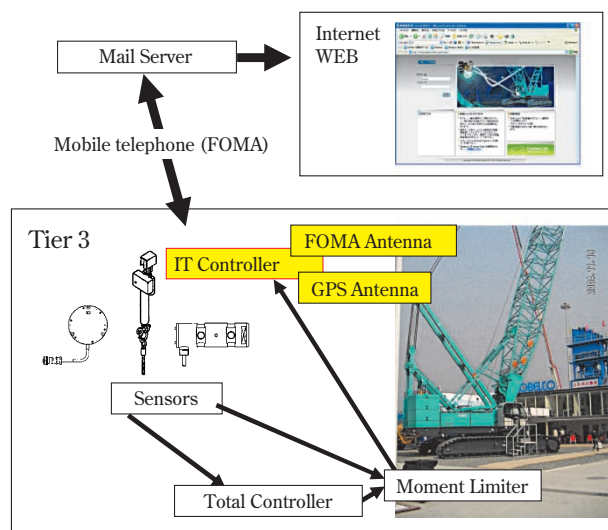


図1 KCROSSの構成 (Tier 3 : 3次排ガス機の場合の構成)  
Fig. 1 KCROSS system about 3rd. emission control type crawler crane.

\*1コベルコクレーン(株) 開発本部 開発企画部



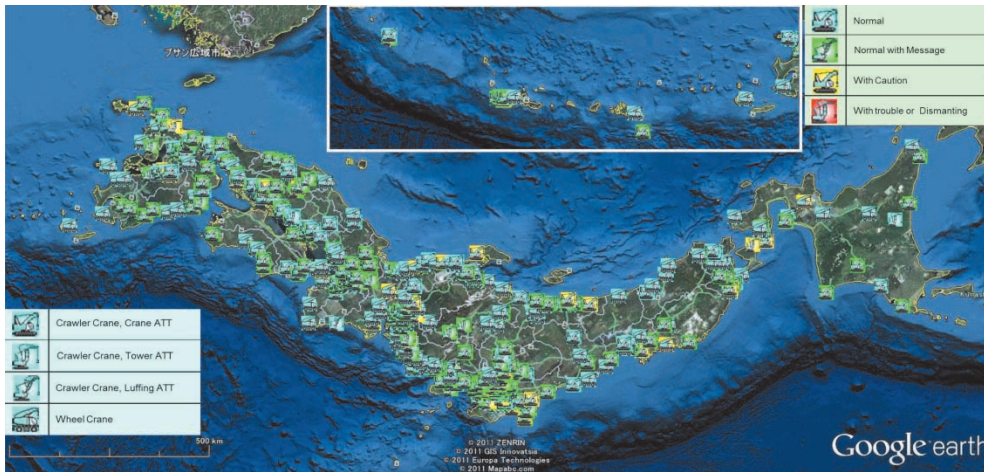


図 2 2011年12月現在のKCROSSの日本国内展開状況  
 Fig. 2 Over 700's cranes with KCROSS system in Japan at 2011/12

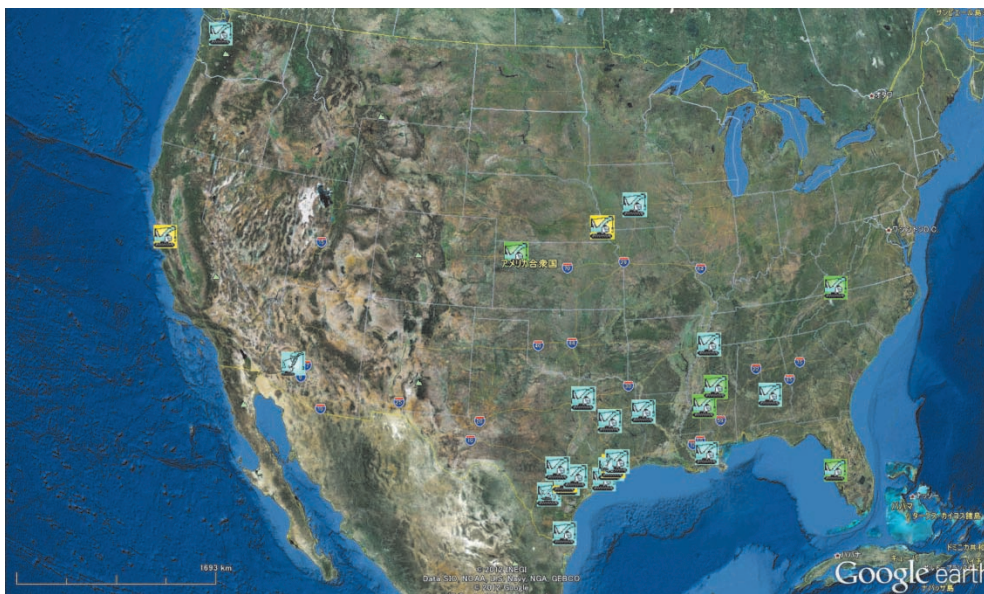


図 3 2012年2月現在のKCROSSの北米展開状況  
 Fig. 3 Over 40's cranes with KCROSS system in U.S.A. at 2012/02

## 2. 新しい遠隔稼働管理システムの開発要件

コベルコクレーン(株)が販売するクローラクレーンは2000年以降、徐々に海外販売比率が上がっており、国内向けと海外向けのこれまでの累計稼働機台数が逆転するに至っている。今後も、海外とくに新興国向けの出荷比率が高まると考えられ、広い地域を少ないサービスエンジニアで対応せざるを得ない状況となってきた。

また、北米や欧州などの排ガス規制対応が徐々に厳しくなる一方で、排ガス規制のない国々へもエンジン仕様が異なるクレーンを同時に販売していく必要がある。

上記の背景およびお客様や海外サービスエンジニアの要望を実現するために、「KCROSS」システム改善の開発要件を次のように設定した。

### 1) グローバル対応化

国内でのサービス機能と互換性を保ちながら、海外においても同一のサービスを展開できること。

### 2) クレーン作業内容のモニタリング強化

吊(つり)荷の重さと吊り作業回数を可視化することにより、クレーンの作業ボリュームをさらにわ

かりやすく表現できること。

### 3) 遠隔地での故障診断機能の強化

故障状況をより正確に把握するため、クレーンの動きにかかわるほぼ全ての状態量を長期間保存できるデータロガー機能を持たせ、かつ任意の期間と情報を抽出できること。

### 4) 新機種「Gシリーズ」の特徴に合わせた新機能

「Gシリーズ」の特徴である低燃費および省エネ機能の利用状況をモニタリングできること。また、燃料消費量も可視化できること。

以下の章でこれらの要件を詳述する。

## 3. グローバル対応化

コベルコクレーン(株)の海外販売地域は世界各地に広がっており、サービスエンジニア一人の担当範囲は広く、管理台数も非常に多い。このため、各地で稼働するクレーンで故障が起こった場合、事象を確認するための現地への移動に多額の出費が強いられ、お客様およびサービスエンジニアの両方にとって頭の痛い問題となっている。そもそもコベルコクレーン(株)のクレーンは、作業不

能に陥るような大きな故障が少ないとの評価を得ており、海外でのメンテナンス周期は「壊れるまで使う」という感覚がとくに新興国では強い。また、クレーンは20～30年の長期間に渡って使用されることから、故障程度が比較的大きくなりがちな稼働実態を把握することが海外でのサービス活動では非常に重要となってくる。

こうした背景から、国内での「KCROSS」サービス開始前からグローバル化が待ち望まれてきた。

グローバル化を進める上で重要になる技術要件を以下に示す。

1) 海外のどの地域とも通信ができること。また、機器単体で認証を得ることが可能なこと。

通信方法は衛星通信および地上波携帯通信の比較を行ってきた。衛星通信は、上方が見通せる環境下ではほぼ100%通信可能であることは魅力的であるが、データ単位の通信料が高額(地上波比の100倍以上)なことに加え、認可されていない国では使えない。一方、地上波携帯網はどの地域でも年々強化されており、クレーンが稼働する地域は通信環境が比較的良好であることから、こちらを採用することにした。遠隔稼働管理の普及においては、台数的にクレーンより先行している他社ショベルの動向を見ても、衛星通信から発達した地上波携帯網に切替える動きが出ている。あとは、通信機能を持つITコントローラが必要となるのだが、国内向けに使用してきたITコントローラは国内キャリア専用端末であり、海外では一切使用できない。また、「Gシリーズ」ではCAN通信や後述の大容量データロガー機能等を満足する必要がある、全世界対応の3G/GSM対応の通信モジュールを搭載したコントローラ(Global IT Controller, 以下GITC)を新たに開発した。

サービス開始前にはクレーン実機試験だけでなく、サービスカー等にGITCを取付け、長距離を走行して広い範囲での電波強度を調べた(図4)。その結果、携帯電話が普及している国内での測定結果と比較しても遜(そん)色ないことがわかった。ただし、一部の地域では「KCROSS」サービスに必要なデータ通信形式であるGPRS通信が確立できず、音声データ通信形式であるSMS通信を選択せざるを得ない場合があり、位置や基本的な稼働データのみを送信する仕組みを構築した。この場合でも、クレーンがGPRS通信が可能な地域に移動した時には、未送信データを自動的に送信する。

2) インターネット環境さえあれば、どこでも情報にアクセスできること。

上記要件は国内同様、一般的なPCを用いてインターネットエクスペローラを通じて「KCROSS」の稼働情報を閲覧できることを意味しており(図5)、この場合、データを保存するサーバを地域分散するか、1カ所中央集中管理するかという選択肢がある。コベルククレーン(株)の場合、総販売台数がショベル等と比較して少ないが、全世界的に販売しているため、各地域で個別に管理を行うのは合理性が低い。1カ所中央集中管理した場合、全世界からアクセスして遅延の問題が生じないかという懸念があったが、サーバまでのアクセス時間等を事前に調

査し、全く問題ないことがわかっており、国内のデータ同様に1カ所で管理することとした。

3) グローバル化の共通課題である時差、単位系、言語の課題を克服すること(表1)。

4) 各種規制・規格に対応できること。

例えば、欧州ではEN規格に基づき過負荷防止装置を解除した場合の操作履歴や負荷率、吊荷荷重等の記録が義務化されていることから、GITCには常時状態記録機能を持たせている(5章参照)。

5) 国内同様のサービスを低コストで提供すること。

海外で問題となるのが通信費用である。一般的にデータ通信はデータ従量課金であり、データ量が多くなると通信費が非常に多額となり、本サービスの維持が困難となる。そこで、①過負荷履歴のようにデータ量が多い場合はピーク値情報のみ送信し、必要都度ダウンロード要求して取得する、②データ量を圧縮する、③海外パケットデータ通信が安く、どの地域でも同一単価のキャリアを選択することにより、通信コストを国内の同等に抑制することができた。

以上、GITCを開発することにより、グローバル対応化の要件を達成することができた。また、WEB情報を一括管理することにより、システム維持費のみならず開発費もミニマム化が図れた。

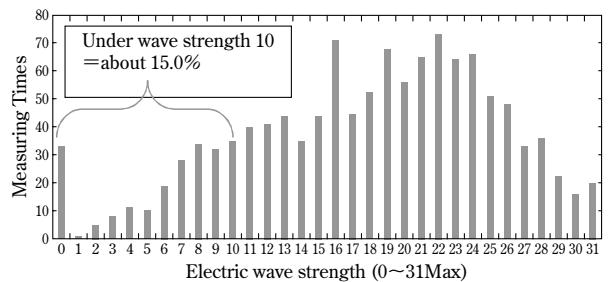


図4 米国内の3G/GSM携帯電話網電波強度分布例  
Fig. 4 Strength distribution of mobile telephone electric wave

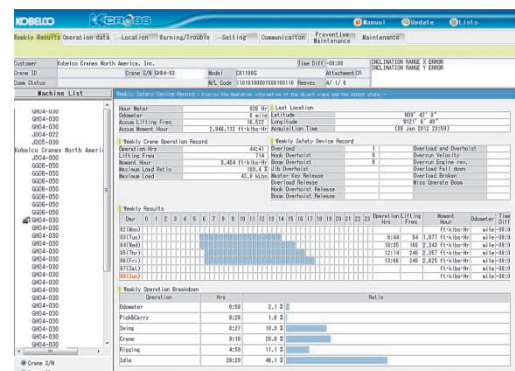


図5 KCROSSのWeb画面例(週間実績画面、英語画面)  
Fig. 5 Sample of KCROSS web screen for English (weekly view)

表1 言語、単位、時差への対応  
Table 1 Optional language, unit, time difference in KCROSS

Display type	Language	Unit	Time difference	Area
Japanese & Metric	Japanese	SI (m, t)	Fixed + 9 hour	Japan
English & Metric	English	SI (m, t)	- 12 ~ + 12hour Min unit is 15min	Europe or else
English & Imperial	English	kLbs/Feet	- 12 ~ + 12hour Min unit is 15min	North America



#### 4. クレーン作業内容のモニタリング強化

2008年の発表当初から、クレーンの安全作業状況を証明できるよう図6に示す日報、週報および期間帳票<sup>3), 4)</sup>で作業内容および過負荷防止装置の作動状況等を簡潔に表示し、プリントアウトすることができる機能を搭載し、好評を得ていた。その中に、リフトアナライザVer.1としてクレーンの作業半径と実荷重の分布時間を色グラフで表示する機能があり、作業形態等を知る上で参考になるものであった(図7)。しかし、お客様からはさらに「どの程度の重さの吊荷を何回吊ったか?」とか、「負荷率だけでなく、その時に吊っていた実荷重と作業半径を同時に知りたい」という要望が多く挙がってきた。そこで、「Gシリーズ」から吊作業回数をカウントする都度、15分割の荷重閾値別に吊り作業回数を積算する仕組みを取入れ、それらを日報や週報にリフトアナライザVer.2として可視化できる形で表示する機能を追加した(図8)。

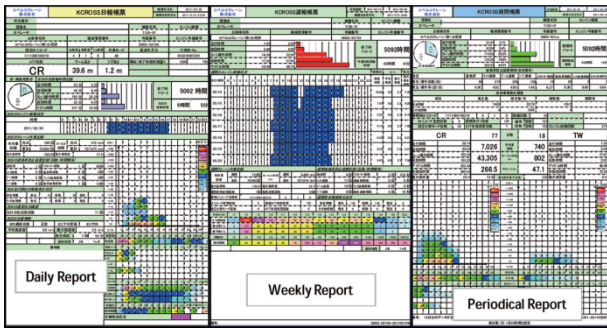


図6 各種帳票例

Fig. 6 Sample of reports (daily report, weekly report, periodical report)

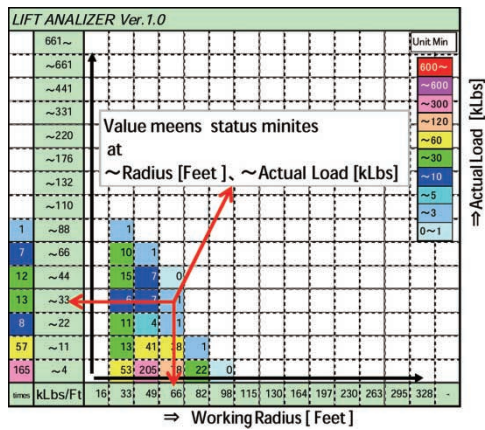


図7 リフトアナライザ Ver.1

Fig. 7 Lift analyzer ver.1

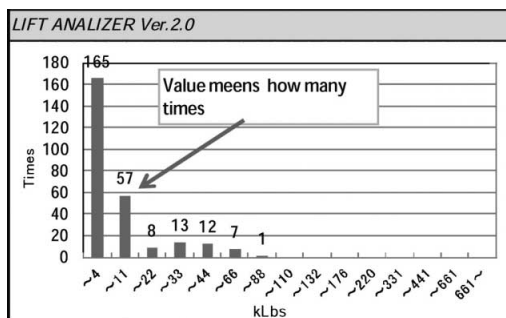


図8 リフトアナライザ Ver.2

Fig. 8 Lift analyzer ver.2

これにより、Ver.1と合わせて回数、時間とも全て把握できることから、クレーンの作業内容をより正確に把握することが可能となった。

#### 5. 遠隔地での故障診断機能の強化

「Gシリーズ」以前から、過負荷防止装置内にクレーンの状態量や操作状況を記録する機能があったが、事故発生時の原因究明以外に利用頻度は低く、故障解析に用いるためにはデータ保存量が不足していた。それが、国内において「KCROSS」搭載が標準化されてからは、各種データが遠隔でも確認できることにより、「KCROSS」に届いた複数の情報の履歴から故障箇所を類推することができるようになった。しかし、実際にフィールドで起きている事象の一部は再現性が低く、WEB画面上ではすぐに故障情報が消えてしまう問題があった。そのような場合、サービスエンジニアは現地に出向き、クレーンのサービス診断機能と言われる各コントローラの入出力状況を調べ、原因究明と復旧にあたらなければならなかった。そこで、大容量データの保存機能およびCANバスシステムに直接にアクセスできるCAN通信機能を設けた(図9)。これにより、過負荷履歴と同等のデータであれば約4,000時間、さらにデータ量が多いサービス診断機能の全てのデータを168時間分蓄えることができるようになり、フライトレコーダに近い形でクレーンの全ての操作、状態量に関するデータを記録することが可能となった(図10)。また、これらのデータはWEB側から記録時刻を指定して取得することが可能であり、重大な

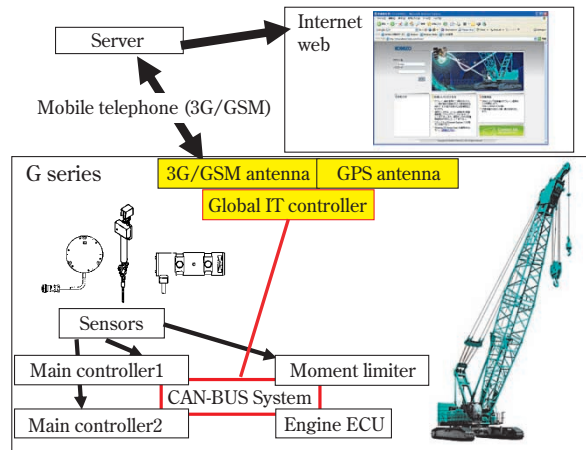


図9 KCROSSの構成 (Gシリーズの場合の構成)

Fig. 9 KCROSS system for G series crawler crane

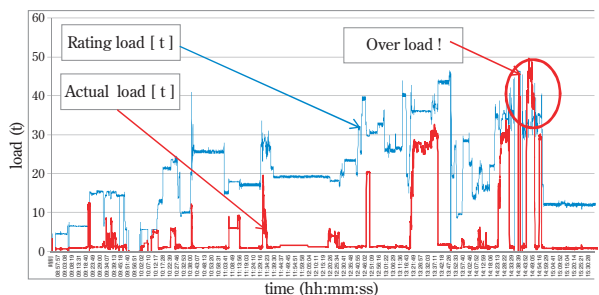


図10 解析データの一部 (荷重の時刻歴データ)

Fig.10 Sample of analysis data (rating and actual load's time career graph)



故障等が発生した場合に絶大な威力を発揮する。現状、取得したデータを迅速に、かつわかりやすく表示および分析するソフト面での拡充が課題である。

## 6. 新機種「Gシリーズ」の特徴に合わせた新機能

「Gシリーズ」はGがGreen（環境性能）をアピールしていることから、Gモードと言われる図11に示す機能が特徴である。これらの機能が有効に活用され、燃費削減につながっている状況について、燃料消費量とともに「KCROSS」で確認することができる（図12）。

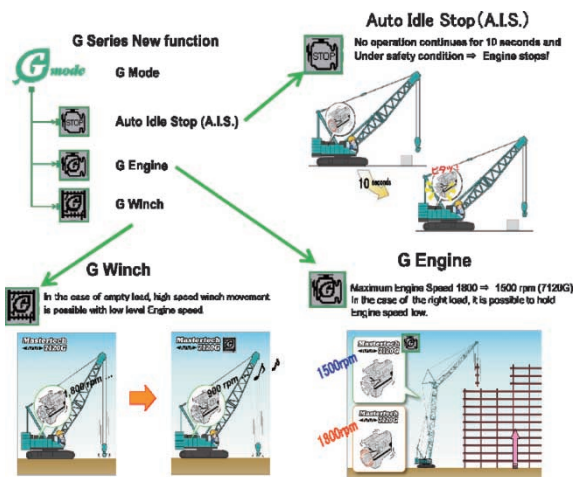


図11 Gモード説明  
Fig.11 Outline of G mode

G Mode Analyzer			
A.I.S.	Activated	505 min/	25 times
G-Winch	Activated	72 min	
G-Engine	Activated	313 min	
Work Days	56	Fuel Used	518 Gal
TRANSMISSION	Every	935	Fuel Use Rate 1.54 Gal/h
	Daily	119	TIMES E/G START 190

図12 Gモードアナライザ(ある任意期間でのGモード機能の作動時間/回数および燃料消費量など)

Fig.12 G mode analyzer (G mode working minutes/times and fuel consumption in the case of periodical report)

むすび=本稿では、新機種「Gシリーズ」の上市に合わせた「KCROSS」の機能拡充と、北米から開始したグローバル対応の一部を紹介した。コベルコクレーン(株)ではクローラクレーンの現地生産をインドおよび中国で行っており、海外で稼働するクレーンはさらに増加する見込みである。新興国では販売後のファイナンス管理や整備の徹底の観点から「KCROSS」搭載が必須との声が上がっており、これらの声を取入れながら、お客様にとってコベルコのクレーンを末永く安全にご使用いただけるよう「KCROSS」開発を進めていく所存である。

### 参考文献

- 1) 水谷元彦, 移動式クレーン遠隔稼働管理システムKCROSS, クレーン, 第46巻, 2008年11月号, p.10.
- 2) 水谷元彦, GPSクレーン遠隔稼働管理システムKCROSSの活用事例, クレーン, 第49巻, 2011年7月号, P.23.
- 3) 特許:第4640196号.
- 4) 特許:第4735518号.

(論文)

# シテークレーンの燃費改善へのアプローチ

## Approach for Improving Fuel Consumption of City Crane



堀 直人\*1  
Naoto HORI



寺坂穰二\*1  
Joji TERASAKA



小林隆博\*2  
Takahiro KOBAYASHI



菅野直紀\*3  
Naoki SUGANO

For fuel saving in hydraulic wheel cranes, two control systems have been newly developed; namely, a one-way-clutch system and an advanced engine control system. The former allows one-way transmission of power only in the direction from the motor to the axle and eliminates the need for actuators and controllers to control the motor action. The advanced engine control system determines the engine rotation speed in response to half-stroke operations of levers, which prevents unnecessary generation of engine power. It was found that fuel savings of 12% in driving and 20% in crane operation were achieved for the former and the latter systems, respectively, in the practical operation of the cranes.

まえがき＝燃料コストの上昇や環境対応に対するユーザ意識の向上から、省エネ性能に対するニーズはますます大きくなっており、建設機械においても排ガス規制のタイミングに合わせて各社から省エネ性能向上を特徴とする新規モデルが上市されている<sup>1), 2)</sup>。

コベルコクレーン(株)では、ホイールクレーンのエンジンから走行・作業アクチュエータまでの動力伝達に、主に油圧制御システムを使用している。油圧制御システムではポンプや制御バルブを用いてアクチュエータの挙動を制御しており、各部で大きな動力損失が生じる。したがって、省エネ性能向上には各機器で生じる損失を最小化するように制御、機構をいかに最適化するかが肝要となる。

コベルコクレーン(株)は、2008年にホイールクレーンRK250-7を上市、その後、2011年に実施したマイナチェンジでは、新規開発した技術を盛り込むことで省エネ性能の向上を達成した。本稿では、ホイールクレーンの省エネ化に向けた開発アプローチと開発技術について紹介する。

### 1. ホイールクレーンの油圧システム

#### 1.1 走行油圧システム

RK250-7では、走行系に油圧式無段階変速 (Hydraulic Static Transmission, 以下HSTという) システム<sup>3), 4)</sup>を使用している。このHSTシステムは、一般的なトルコンや機械式の変速機と異なり、エンジンと駆動軸の間に油圧を介して動力伝達することを特徴とする。

ホイールクレーンの場合、上部旋回体にクレーン作業用アクチュエータ、下部走行体に走行用駆動軸がある。ここで、トルコンや機械式の変速機を使用した動力伝達方式を採用する場合は、エンジンから出力軸までがほぼ機械的に接続されるため、エンジンは下部に配置して上

部アクチュエータへはセンタスイベルジョイントを介して油圧動力を供給する構成に限定される。しかし、RK250-7では、クレーン安定能力を維持しながら車両サイズをよりコンパクトに構成するため、エンジンを上部旋回体に搭載し、エンジンと駆動軸の間にはレイアウトの自由度が高いHSTシステムを採用した。

RK250-7の油圧システムは図1のように構成されている。走行システム(図1(b))は、動力分割機構を介して可変容量ポンプをエンジンで駆動し、このポンプ吐出油が走行駆動用可変容量モータを駆動することによって回転軸(以下、アクスルという)やタイヤを回転させ、車両を走行させる。モータ排出油をポンプに戻すように、油圧回路が閉回路で構成されていることが特徴である。

ポンプ吐出流量が一定の場合は、モータ容量を大きくするほど駆動トルクが大きくなり、モータ容量を小さくするほど走行速度が速くなる。また、ポンプ流量を大きくすることにより、HSTシステムへの投入動力を大きくすることができる。このようにHSTシステムではポンプ、モータの容量制御により駆動トルク・走行速度の増減を制御する。

#### 1.2 クレーン作業油圧システム

クレーン作業部の油圧システムを図1(c)に示す。動力分割機構を介してエンジンが作業用の可変容量ポンプを駆動し、その吐出油はコントロールバルブを介してウィンチ巻上げ/巻下げモータ、ブーム伸縮シリンダ、およびブーム起伏シリンダへと導入される。コントロールバルブは、作動油を供給するアクチュエータの選択をはじめ、そのアクチュエータの作動方向と速度が制御する。HSTシステムと異なり、アクチュエータからの排出油はコントロールバルブを通して作動油タンクへ戻る。

\*1コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*2コベルコクレーン(株) ものづくり統轄本部 品質保証部 \*3技術開発本部 機械研究所

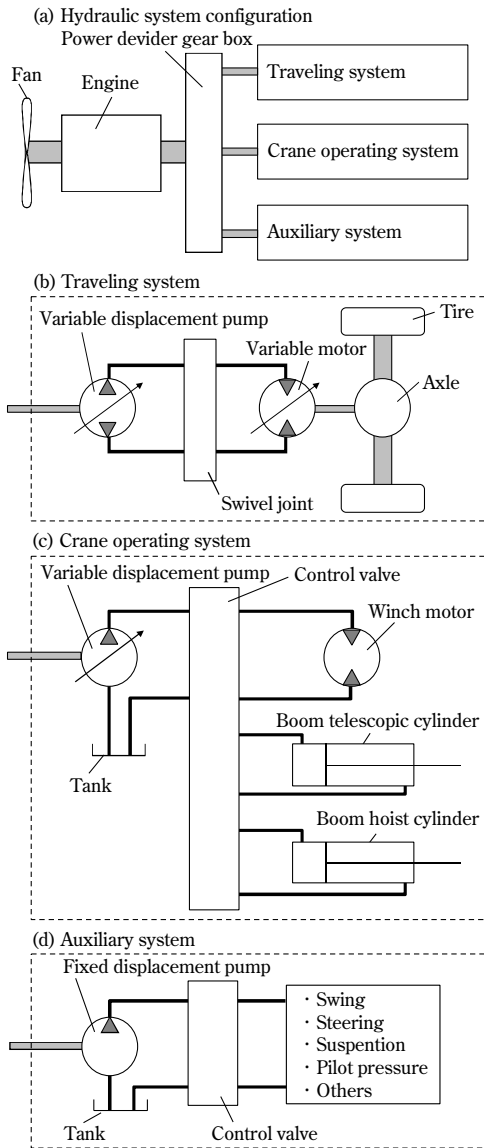


図1 ホイールクレーンの油圧システム構成  
Fig. 1 Hydraulic system configuration of wheel crane

## 2. シミュレーションによる走行燃費予測

新規システムの採用や仕様変更を伴う開発のリードタイム短縮にはシミュレーションによる事前予測が活用されるが、コベルククレーン(株)における走行燃費の予測技術は、定速走行のような単純な走行条件だけに限られていた。しかしながら実際は、定速走行や加速走行、慣性走行、登坂走行などが混合した複雑な走行条件となる。

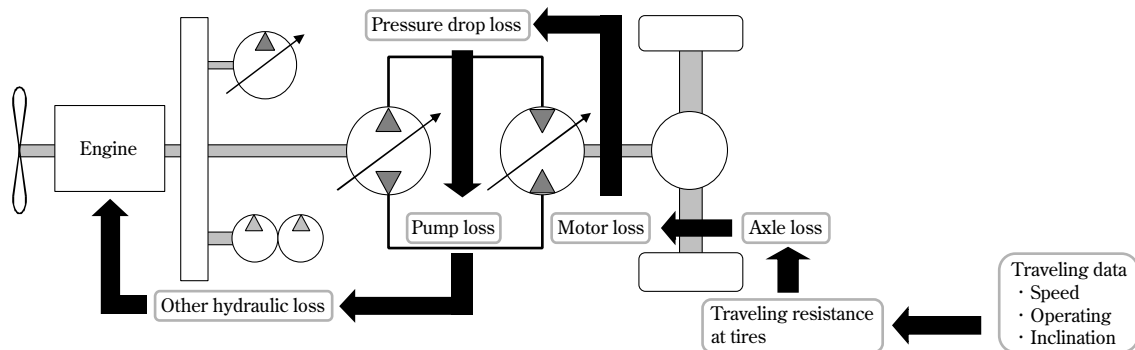


図2 エンジン負荷計算の流れ  
Fig. 2 Flow of engine load calculation

このため、実走行データを基に走行燃費を予測するシミュレーション技術を開発する必要があり、走行中の各機器における負荷と損失からエンジン燃料消費量を計算する手法を新たに考案した。

図2に示すように、実測した車速および道路勾配データなどから走行抵抗を算出し、各装置での損失を加算することによってエンジンの回転数と必要トルクを求め燃費を推定する。車速データは走行状態に応じた可変スージングを行って燃費解析でのノイズを低減し、精度良く燃費解析を行うことを可能とした。ポンプやモータでの損失導出では、ニュートン・ラプソン法による反復計算を行った。ポンプの場合、状態方程式として式(1)~(3)が得られる。

$$W_p = W_{EG} - W_{add} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_p P_p = W_p \eta_m \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_p = q_p N_p \eta_v \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $W_p$ 、 $W_{EG}$ 、 $W_{add}$ はそれぞれ、ポンプ、エンジン、補機の動力、 $q_p$ はポンプ容量、 $P_p$ はポンプ圧力、 $Q_p$ はポンプ流量、 $N_p$ はポンプ回転数、 $\eta_v$ および $\eta_m$ はそれぞれポンプの容積効率、機械効率である。この流量 $Q_p$ を評価関数、回転数 $\omega_p$ を変数として計算を行った。

このシミュレーションモデルの精度検証として、実機走行データと解析結果の比較を図3に示す。図の走行データは速度を階段状に上げていったときのもので、加速時と定速走行時の燃費が解析によりほぼ再現できている。トータルの消費燃料も差異は5%以内であり、本手法の妥当性が確認できた。

## 3. 走行燃費改善

### 3.1 ポンプ容量制御<sup>5)</sup>

走行時のエンジンはHSTシステムのポンプを駆動するだけでなく、作動油の冷却やステアリング操作、パイロット圧源のため作業用ポンプや補機ポンプを駆動している。これらのポンプはできるだけ容量を下げ、不要時はアンロード運転させているが、制御バルブや配管通過時の圧損による動力損失が生じてしまう。図4は回転数を変化させたときのポンプアンロード圧力計測結果を示す。回転数とともに圧力が上昇しており、ポンプ負荷が増大していることが分かる。また、図5に示すように、エンジンは定格回転数よりも低い回転数域に燃焼効率の良い領域があるため、回転数低減が消費燃料の削減に効



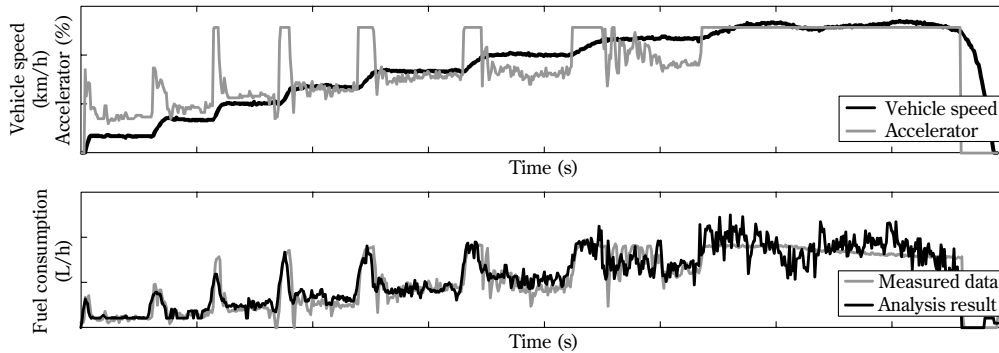


図3 実測とシミュレーションの比較  
Fig. 3 Comparison of measured data and simulation

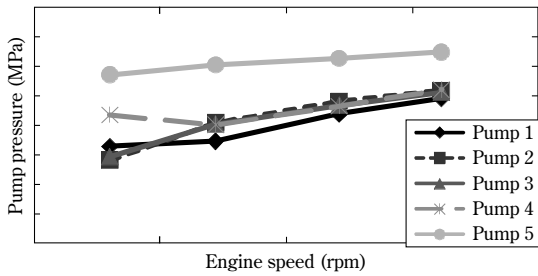


図4 ポンプアンロード圧力  
Fig. 4 Unloaded pump pressure

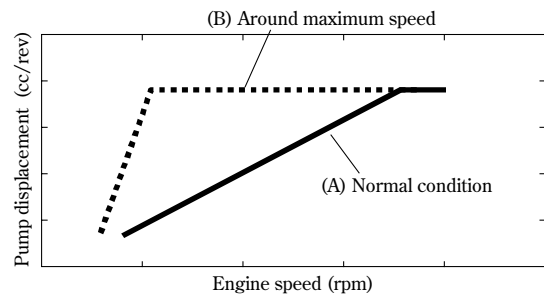


図6 ポンプ容量制御  
Fig. 6 Pump displacement control

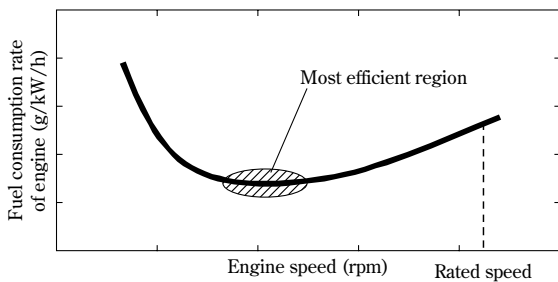


図5 エンジン燃料効率特性  
Fig. 5 Engine specific fuel consumption

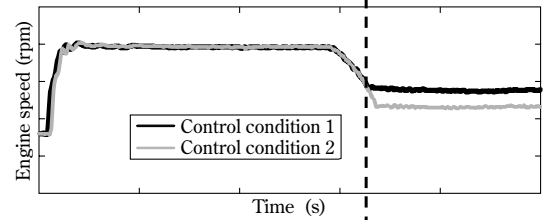
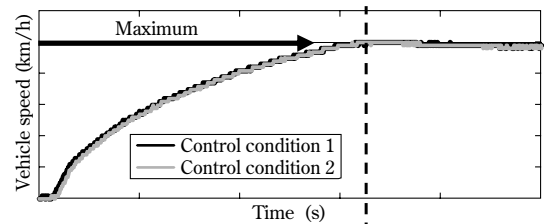


図7 エンジン回転数低減効果  
Fig. 7 Effect of engine speed reduction

果がある。これらの特性を踏まえ、以下に示すポンプ容量制御を考案した。

走行用ポンプは、エンジン回転数に対して図6 (A)で示すような一定の関数に従い容量指令値を決定する。ここで、エンジン回転数とともに容量指令値を大きくするのは、エンジン始動時のポンプ容量が大きいと急激に大きなトルクがエンジンに負荷され、回転数の立ち上がり不安定になってエンストを起こすのを防ぐことを目的としている。

エンジンは回転数が高くなるほど大きな動力を出力するため、加速時や登坂時のようにフルパワーを必要とするときはエンジンを高回転数で維持する必要がある。一方で、平地を定速で走行する場合は負荷が小さく必要エンジン動力も小さいため、低い回転数で走行できる。

速度  $V$  におけるエンジン回転数  $N_E$  は式 (4) より求められる。

$$N_E = \frac{q_m \varepsilon_{axle} \varepsilon_{pd}}{q_p \eta_p \eta_m} V \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $\varepsilon_{axle}$  はアクスルの減速比、 $\varepsilon_{pd}$  は動力分割機構の減速比、 $q_m$  はモータ容量、 $\eta_m$ 、 $\eta_p$  はモータ、ポンプの容積効率である。式 (4) から、モータ容量を小さくして

ポンプ容量を大きくすることによってエンジン回転数を下げることができる。しかしながら、図6 (A) に示す関数のままポンプ容量を制御したとき、エンジン回転数の低下とともにポンプ容量が小さくなるため大きな効果が得られない。そこで、最高速度近傍で定速走行している場合は図6 (B) に示すようにポンプ容量を制御することによってエンジン回転数を低減させるようにした。

また、速度だけでなくアクセル量に対しても本制御を適用し、慣性走行や低速走行のように走行必要動力が小さい条件の場合も、図6 (B) と同様の容量制御を行うことによって幅広い速度域でエンジン回転数を最適化することができた。

図7 はポンプ容量制御を変更して最高速度まで加速走行試験したときの走行速度とエンジン回転数の変化を示

す。条件1は従来の制御，条件2は図6点線(B)で示す制御を適用した結果を示す。走行速度は条件1および2でほぼ同等であるが，最高速走行時のエンジン回転数は条件2の方が低い上に，瞬時燃費で約11%改善しており，本制御の有効性が確認できた。

### 3.2 ワンウェイクラッチシステム<sup>6)</sup>

ホイールクレーンのように重量の大きい車両では，加速・登坂に要するトルクが大きい。モータ出力トルクはモータ容量に比例するため，実機モータ容量も大きくする必要があるので，搭載上の問題からHSTシステムを複数のモータで構成した。一方で，定速走行のような軽負荷走行状態では駆動に要するモータトルクが小さい。このため，一時的に一部のモータをアンロードさせて省エネを図ることも可能であるが，図8に示すようにモータ容量をゼロにしても一定以上の損失トルクが生じる。また，モータ出力の動力合成機構において各モータと一緒に回転する歯車でも抵抗が生じている。

そこで，駆動に使用しないモータの空転ロスを削減するため，動力合成機構に接続されているモータの軸にワンウェイクラッチ(以下，OWCという)を導入したシステム(図9)を考案した。このOWCはモータ2から動力合成機構の方向にのみ動力伝達し，逆方向には伝達させないため，走行中にモータ2の容量をゼロとして駆動力を発生させなくすると，クラッチが切断された状態となって回転が停止する。登坂や加速状態ではモータ2を駆動状態とするため自動的にクラッチが結合し，モータ1とともに動力伝達する。このOWCは，結合・切断にアクチュエータや制御圧源，信号を要しないため，動力伝達システムの変更にあたっては従来のモータ機構からの機器変更は少なく済む。

OWCの効果をベンチ装置で行った確認試験結果を

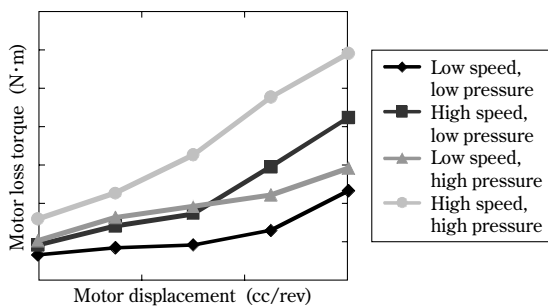


図8 モータの漏れと損失トルク  
Fig. 8 Motor leak and mechanical loss

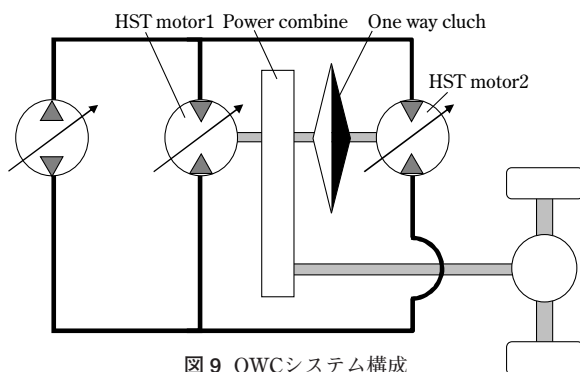


図9 OWCシステム構成  
Fig. 9 OWC system configuration

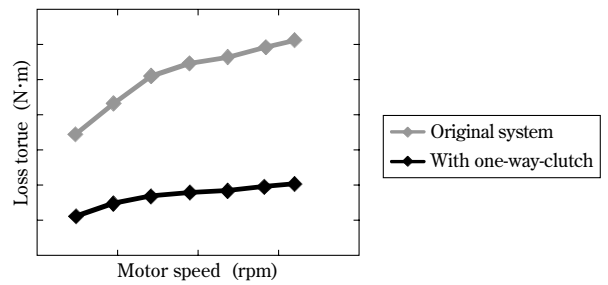


図10 モータ取り付け軸抵抗  
Fig.10 Shaft resistance in motor

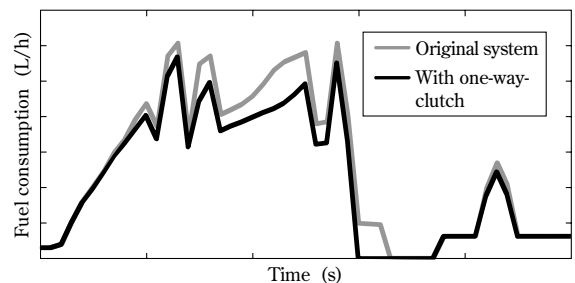
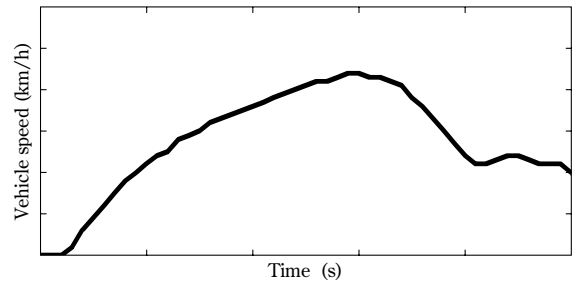


図11 OWCシステムの走行シミュレーション結果  
Fig.11 Simulation of OWC system

図10に示す。回転数を変化させて，容量ゼロ状態のモータ取り付け軸の連れ周りトルクを計測した結果，最高速度近傍で約3分の1まで低減できることを確認した。

2章で検討したシミュレーションモデルにOWCシステムによる損失低減の効果を組込んで走行燃費を解析した。その結果を図11に示す。機器の特性上，モータ容量がゼロになるまでは効果がないため，低速域では燃費に改善は見られない。しかしながら，速度が上昇して高速域になると容量ゼロ側のモータが停止し，損失が低減することによって燃費が改善している。市街地走行を想定したテストパターンでは走行燃費が約15%改善される結果が得られた。また，OWCを搭載した試作機による実走行試験結果でも12%改善しており，本システムの効果が実証された。

## 4. 作業燃費改善

### 4.1 ポジコン制御

クレーン作業時のアクチュエータ速度はコントロールバルブで制御している。ここでは図12曲線(C)に示す操作レバー量に応じたアクチュエータへの供給油流量を決定しているため，ポンプ吐出流量の内の作業に使用しない余剰分はタンクへ戻す。従来のポンプ制御(図12点線(A))では，レバー量にかかわらずポンプ容量が一定のため低レバー領域で損失が大きい。ここで，レバー量とともにポンプ容量を増大させるポジコン制御(図12折

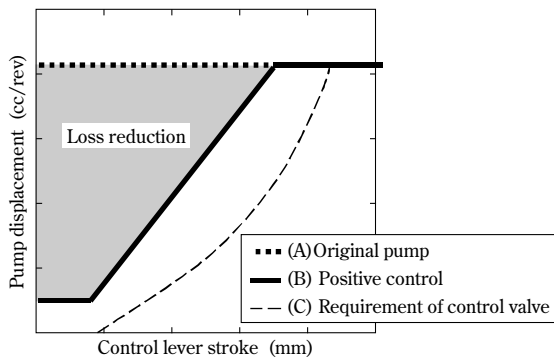


図12 ポジコン制御容量  
Fig.12 Pump displacement in positive control

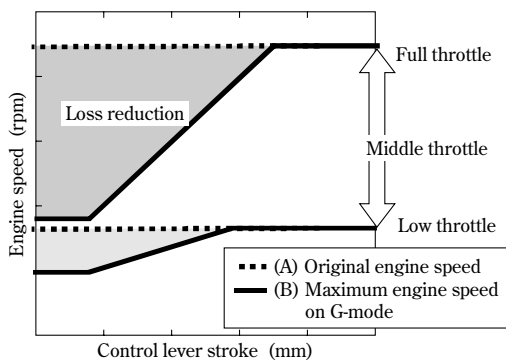


図13 Gモードのエンジン回転数制御  
Fig.13 Engine speed on G-mode

れ線 (B)) を導入することにより、この損失を低減することができる。

#### 4.2 レバー感応エンジン回転数制御

クレーン作業は、各種の操作レバーとエンジンアクセルによってアクチュエータの速度制御を行う。アクセルは作業に応じて操作量を制御されるが、通常はアクセル量一定で作業が行われることが多い。フルアクセル状態で作業を行った場合、レバー量にかかわらずエンジン回転数は最大で保持される。3.1節に記述したとおり、エンジン回転数が高いと補機ポンプ負荷が大きくなり、エンジン効率が悪化する要因にもなる。とくにクレーン作業では、作業自体に要する動力が走行時と比較して小さいため、損失の増大が燃費に与える影響が大きい。

そこで、作業速度を要しないレバー微操作領域においてエンジン回転数を制限する、レバー感応エンジン回転数制御『Gモード』を考案した(図13)。アクセル量に応じたエンジン回転数指令を、レバー量に応じた許容最大エンジン回転数で制限することにより、フルアクセル状態の操作でもレバー操作量に連動させてエンジン回転数をこまめに低減させることができる。また、低速から高速までオペレータの操作感覚に合った作業速度を、ア

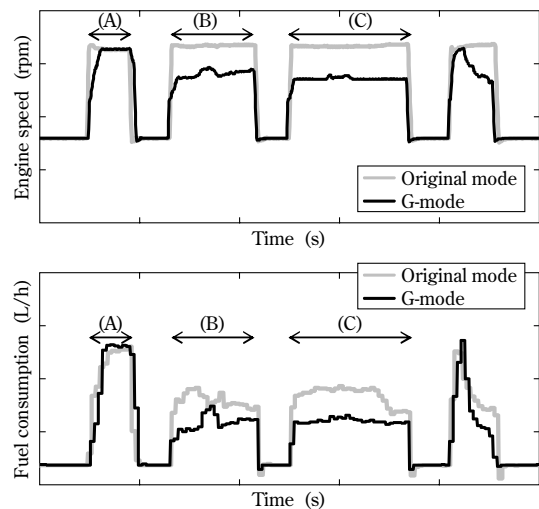


図14 Gモードでのエンジン回転数と作業燃費  
Fig.14 Engine speed and fuel consumption on G-mode

クセルワークなしにレバー操作のみで容易に制御することができることも本制御の特徴の一つである。

図14に実作業(ウィンチ巻上げ/下げ、起伏、旋回の複合操作)を行ったときのエンジン回転数と燃費の変化を示す。本試験では、アイドル時を除く作業中はフルアクセル操作固定で行った。図の作業(A)はフルレバー操作のためエンジン回転数は従来制御と同等であるが、ハーフレバー操作の作業(B)、(C)ではGモードでのエンジン回転数が大幅に低減しており、試作機試験で約20%の燃費改善を確認した。

むすび=ホイールクレーンの燃費性能向上を目的に、走行用ポンプの容量を制御する新技術を開発した。また、OWCシステムを開発してモータロスを低減させたことにより、走行燃費を12%低減させることができた。

一方、クレーン作業中の燃費改善のためポジコン制御を導入し、レバー感応エンジン回転数制御『Gモード』を考案することにより、ハーフレバー操作でのエンジン回転数を下げることができ、作業燃費の20%低減を実現した。今後も更なる燃費改善を目指して技術開発を進める。

#### 参考文献

- 1) 鹿兒島昌之ほか. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.66-69.
- 2) 下垣内宏. 建設の施工企画. 2007, No.683, p.37-40.
- 3) 梅田雅夫. 油空圧技術. 1999, Vol.38, No.5, p.24-26.
- 4) 阿部里視. 建設機械. 2011, Vol.47, No.1, p.38-41.
- 5) 特許: 第4589979号.
- 6) 公開特許: 2011-84094.



(技術資料)

# シティークレーンの電子油圧制御式2軸操舵技術

## City Crane with Electro-hydraulically Controlled Two Axle Steering Technology



下村耕一\*1

Koichi SHIMOMURA



森田孝司\*2

Takashi MORITA

This paper describes a new steering feature of a city crane, RKE450. Unlike the conventional mechanism of fully hydraulic steering, a mechanical steering system is used for the front axle, while an electro-hydraulic steering system is used for the rear axles, and the latter steering system is automatically controlled by the front-axle movement. In addition to the safety feature carefully built into the control system, the new steering system also achieves low tire abrasion, better driving stability, and a smaller turning radius. As a result, the crane complies with the European regulations for driving on public roads at speeds as high as 80km/h and has several auxiliary functions for crane actions in the off-road mode at speeds below 25km/h determined by the regulations.

まえがき＝本格的に欧州市場へ投入するシティークレーンの新機種 RKE450 (図 1) を開発するにあたり、操舵機構を欧州規制へ適応することは必須条件であった。国内仕様機において従来採用している油圧式操舵機構では欧州規制には適応できないためである。そこで、新たに前軸を機械式操舵とし、その操舵量に応じて後軸を電子油圧式で自動操舵させるシステムを開発した。

その結果、安全性を十分に配慮した上で、タイヤ摩耗の低減、走行安定性の確保および小回り性の向上を図り、欧州における高速公道走行に対応した操舵システムを確立することができた。以下にその詳細を紹介する。



図 1 RKE450 概観写真  
Fig. 1 Photograph of RKE450

### 1. 国内仕様機における従来の操舵機構

国内で大型特殊自動車として認知されているシティークレーンは、公道走行時に使用する前軸のみで操舵するノーマルモードと、非公道(現場内)走行時に小回り性を向上させるために使用する特殊モード(クランプ/クラブ/リア: 図 2 参照)を標準装備している。また、操

舵を行う運転席は上部旋回体に配置する一方で、最終的な操舵作動する機構部は下部走行体に配置しており、一般的な自動車とは異なる操舵機構の構成上の特徴を有している。そのため、機械的に連結した操舵機構ではなく、全油圧式パワーステアリングコントロールユニットを使用した油圧式操舵システム(図 3)が30年以上前か

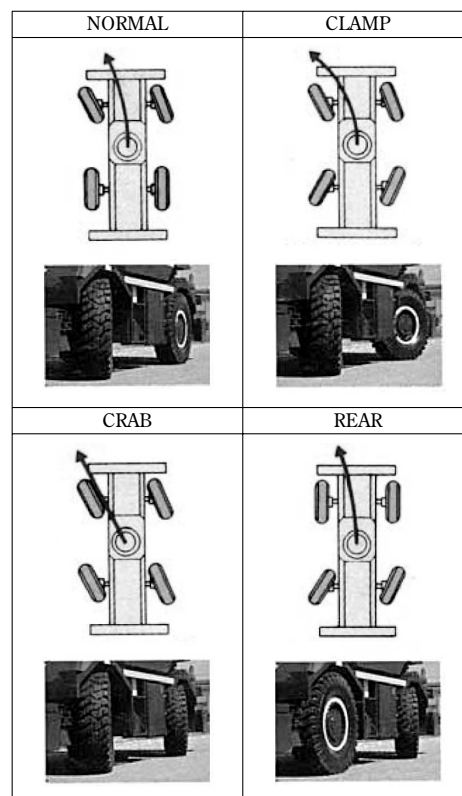


図 2 ステアリングモード  
Fig. 2 Steering mode

\*1 コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*2 技術開発本部 電子技術研究所

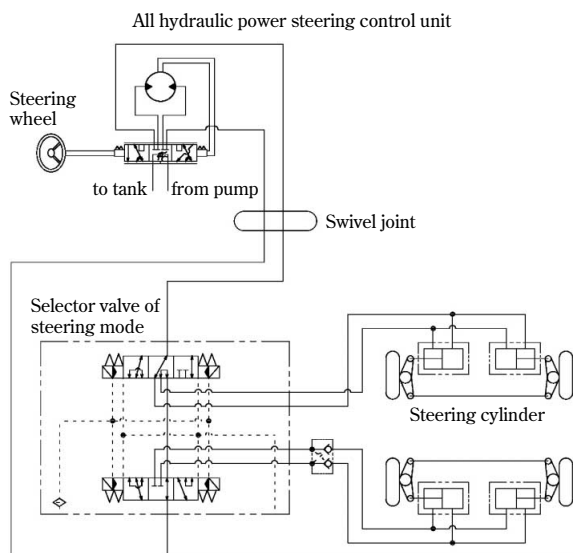


図3 国内機の油圧式操舵システム  
Fig. 3 Hydraulic Steerage mechanism

ら採用されている。これは、運転者の操舵が上記油圧式コントロールユニットにより油圧に変換され、上部旋回体から下部走行体にスィベルジョイントを経由して伝達されて最終的にステアリングシリンダを油圧で作動させることにより操舵作動させる構成である。ノーマルモードと特殊モードは、運転者の操作と各種切換条件をコントローラが判断し、電磁切換弁の切換えによって油圧回路を変更して対応する。

ノーマルモードでは前軸のみが作動する（後軸は保持状態）油圧回路となり、特殊モードでは前軸と後軸が連動する油圧回路になって操舵作動する構成である。しかしながら、この構成では公道走行する際の操舵機構が機械的に接続されていないことから堅牢でないとみなされ、欧州で公道走行車に求められる規制には適合しない。

## 2. 新機種 RKE450 における操舵機構

### 2.1 操舵機構の構成

新機種 RKE450（以下、本機種という）では、前軸は

運転席から下部操舵機構まで機械的に接続し、運転者の操舵操作がリンク機構を経由して直接伝達する構成とした。他方、後軸（2軸目／3軸目）は電子制御による油圧駆動方式とし、操舵の許可などを行う電磁切替弁（以下、チェック弁という）、および操舵量を調整する電磁比例弁に対してコントローラが指令を行うことによって後軸を駆動する構成とした（図4）。コントローラは、運転者による前軸の操舵量を操舵角度センサにより検出・把握し、各ステアリングモードの条件に対応した後軸の操舵量を自動演算する。さらに、後軸の操舵量も操舵角度センサで検出し、その結果に応じて指令を決定する。

このような構成では、前軸と後軸が機械的にも油圧的にも連結されていないため、後軸操舵動作の自由度が高まり、制御次第でタイヤ摩耗の低減や小回り性の向上等の商品力向上を可能とした。一方で、従来の国内仕様機のように、前軸と後軸が油圧的に連結され、前軸と後軸が必ず一定の関係で同期する構成とは大きく異なる。そのため、電子制御のフェール（誤動作や部品故障）などにより、後軸の操舵作動が前軸の操舵に連動しない危険事象が想定されるため、後述のように従来の国内仕様機以上に安全に対する配慮を徹底し、安全性の強化も図った。

### 2.2 各操舵モード

本機種は、公道走行用のオンハイウェイモードと非公道走行用のオフロードモードを備える。

オンハイウェイモードでは、80km/h の高速走行に耐え得る走行安定性の確保と後軸のタイヤ摩耗の低減を図るため、国内仕様機では実施していない各軸ごとの操舵制御を行う。2軸目は中立状態に保持し、3軸目を1軸目の操舵角度に追従して自動操舵する（図5）。

車速が10km/h以下の低速域では、操舵時のタイヤ摩耗を最小限に抑制し、かつ小回り性を向上させるために、操舵回転中心が必ず2軸目の軸線の延長線上になるように制御する。この回転中心は、1軸目と3軸目の操舵角度と、コントローラに予め記憶している実機の軸間距離によって一意に決まることから、コントローラは、

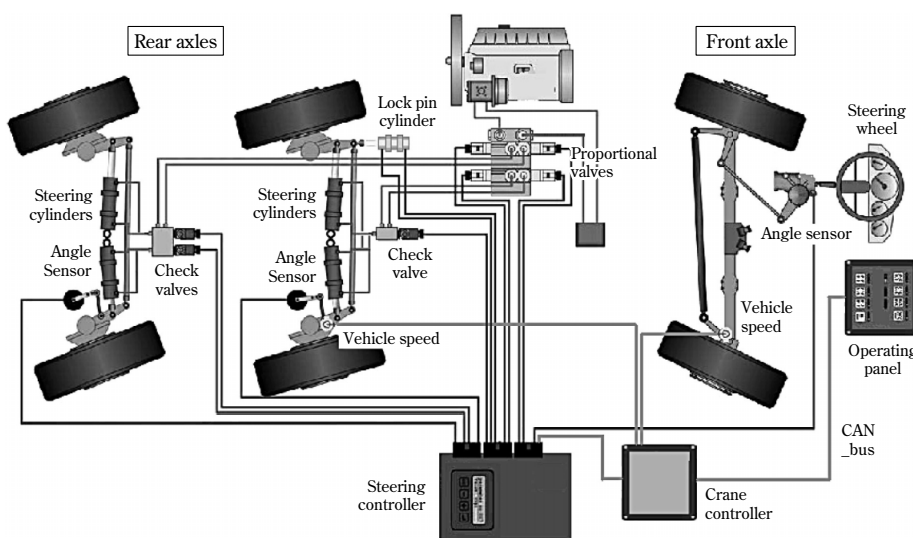


図4 RKE450の操舵システム図  
Fig. 4 Diagram of steerage system of RKE450

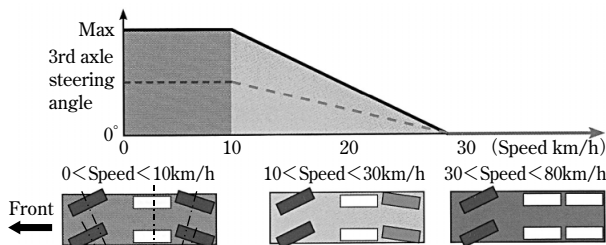


図5 オンハイウェイモード時のステアリング制御  
Fig. 5 Steering system in on-highway mode

運転者の操作で常に変化する1軸目の操舵角に基づいて3軸目の操舵角を計算して自動制御する。

また、車速30km/h超の高速域では、走行安定性を重視し、3軸目も2軸目同様に1軸目の操舵角度に関係なく中立状態に保持する。高速域ではタイヤ摩耗の影響が小さいこと、および操舵角度の小さな変化が車体の方向変化(直進安定性など)に大きく影響するという安全面との両面からこの仕様とした。この車速に対応した制御切換えは、閾値が高い方がタイヤ摩耗の抑制に有利なため、欧州で先行する競合他社の仕様(25km/h)を上回りつつ、実機評価にて安全性を十分確保できる車速として30km/hに決定した。

車速10~30km/hの中速域では、低速域で決定した値から高速域に到達するまで車速に応じて3軸目の操舵角を比例的に変化させ、運転者が後軸の操舵作動に違和感が生じないようにした。

オフロードモードでは、欧州規制に基づいて車速を25km/h以下に制限する代わりに、特殊ステアリングとしてオールホイールモード、クラブモード、およびマニュアルモードを装備し、現場内での各種制約条件に応じた機動性を確保した。このモードでは、オンハイウェイモードで常に中立状態に保持していた2軸目も操舵を可能にし、各軸の操舵可能範囲をフルに生かした動作ができるようにした。

オールホイールモードは、操舵回転半径を最小とするために、操舵回転中心が常に車体中心軸の延長線になるように1軸目の操舵角度に基づいて2軸目と3軸目の操舵角度を自動制御する。クラブモードは、幅寄せを最適にするために1軸目の操舵角度に基づいて2軸目と3軸目の操舵角度を同等にするように自動制御する。マニュアルモードは、ステアリングハンドルとは別の後軸操舵用のスイッチによって1軸目の操舵と独立して2軸目と3軸目を操舵できるようにし、各種制約条件に応じて前軸と後軸の位相を個別に作り込めるようにした(図6)。

## 2.3 安全への配慮

### 2.3.1 状態検出での配慮

システムの精度や安全性、信頼性を維持するためには各軸の操舵角度の検出が非常に重要になる。とくに安全面においては、操舵角度の検出が実機の状態と整合できていない場合、運転者の操舵操作とは全く連動しない操

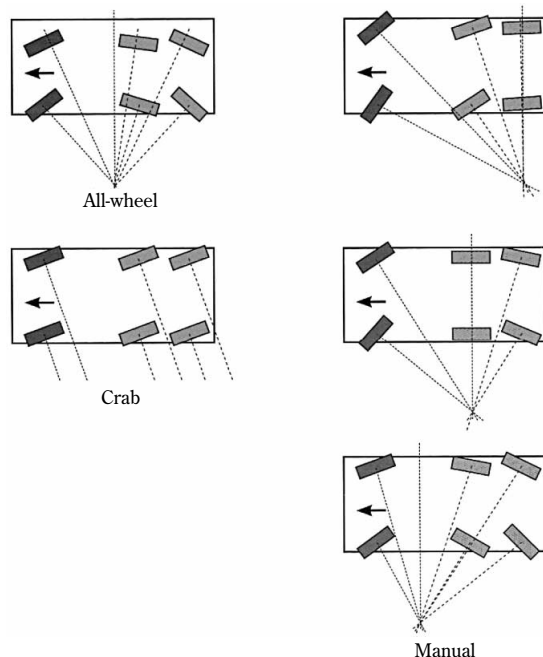


図6 オフロードモード時のステアリング制御  
Fig. 6 Steering system in off-road mode

舵作動になる可能性があり、即時に大事故につながるリスクがある。

そこで、操舵角度検出は、従来の国内機の状態検出に比べて、とくに手厚く配慮した。アクセル操作検出などの重要な状態検出と同様に、検出信号を二重化することは当然だが、二重化した信号の双方が同一要因によって同一傾向の誤った値となることを防止するために、クロスセンシングとして冗長化することによってさらに信頼性の向上を図った(図7)。これは、センサ用電源電圧やアースの電位レベルが何らかの原因で正常値を外れた場合や、信号ラインの中途半端な天絡や地絡が発生した場合など、二重化した信号の両方または片方が正常範囲(センサ電圧の上限や下限を超えた故障範囲には至らない範囲)内において実態とは異なる値となった場合においても異常が判断できるよう構成したものである。一方の信号を基準に他方の信号が角度換算した状態で±10%の範囲から外れた場合には異常と判断し、その値は制御には使用せずにフェール処理に移行する。

車速検出センサからの車速信号も、オンハイウェイモ

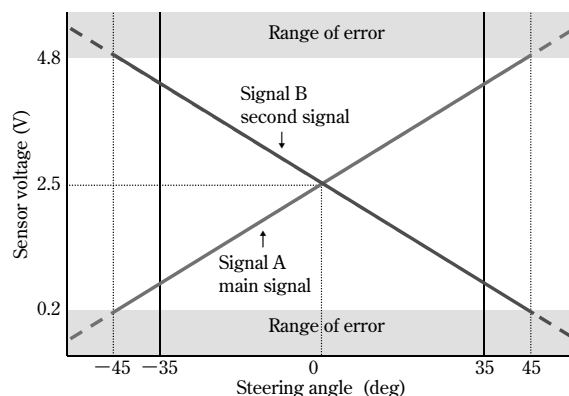


図7 操舵角度センサ信号特性  
Fig. 7 Signal of steering angle sensor



ードにおける操舵角度やモード切換条件などの演算に使用しており、非常に重要である。車速信号は操舵制御以外の制御にも用いており、従来、後軸（メイン）と前軸（サブ）の2箇所センサを設けている。操舵制御用コントローラに対しては、後軸はパルス信号を直接入力し、前軸は他の制御系コントローラ経由でCAN通信により間接的に入力して2系統入力を確保した。通常の異常検出とは異なり、操舵角度検出と同様にその2系統の信号を比較して一定値以上の差異が生じた場合には異常と判断し、その値を制御には使用せずにフェール処理に移行させる。

### 2.3.2 操舵作動での配慮

前述の状態検出が正常であっても、操舵制御用コントローラからの電氣的出力信号やそれを受けて作動する油圧アクチュエータにおいて何らかの異常があった場合にも、運転者の操舵操作とは全く連動しない操舵作動となる可能性がある。このため、電氣的な二重化のみならず油圧的な二重化も含め、手厚く配慮した（図4）。

基本的な考え方として、オンハイウェイモードにおいて後軸が勝手な振舞いを絶対に起こさせないこと（とくに高速域で中立状態に保持すること）を何より優先してシステム構成をした。後軸の操舵作動は2軸目も3軸目もおおの2本のステアリングシリンダのストロークにより決定される構成であり、その作動は操舵制御用コントローラの指令に基づいて作動するステアリング制御弁（比例弁）の出力により決定される。比例弁は制御弁の左右に対向して設け、電氣的出力がない限りは操舵状態は保持されるようにした。すなわち、比例弁の出力が同等（ゼロの場合も含む）の場合には制御弁は中立状態となりステアリングシリンダが保持状態となる構成とした。

さらに、万が一スティック（スプールの固着）や電氣的異常などによりステアリング制御弁（比例弁）の油圧出力が危険側に作動した場合を考慮して油圧回路上で二重の保持構成とした。これにより、操舵制御用コントローラが異常状態を判別し、ステアリングシリンダの前段に設けているチェック弁を回路遮断側に作動させてステアリングシリンダを保持状態にできる。このチェック弁自体も、電気信号が出力された場合に油圧回路を開放してステアリングシリンダを作動可能にする構成とした。なお、このチェック弁は3軸目にはステアリングシリンダごとに設け、一方のチェック弁の不作動時でもステアリングシリンダが作動しないようにした。2軸目は、チェック弁は両方のステアリングシリンダに共通の一つだけしか設けていない。その代わりに、オンハイウェイモードでは常に中立状態保持であることから、油圧保持機構のみでなく、国内仕様機で従来実施している機械的なロック機構（ロックピン）を追加しており、空圧のロックシリンダによってロックピンを作動させ、ステアリングシリンダが作動しないようにした。

電氣的には、国内仕様機同様に比例弁出力のフィードバックを常に監視し、異常時には即時フェール処理へ移行させる。また、チェック弁への電気出力も、ハイサイ

ド（電源供給側）とローサイド（アース側）の双方の出力を操舵制御用コントローラから実施する構成とし、チェック弁が電氣的な理由でステアリングシリンダを保持できなくなる可能性を無視できるレベルまで低くした。

### 2.3.3 フェール時の処理

状態検出や操舵制御用コントローラの異常、あるいは出力系の異常が発生した場合には、危険事象につながらないようにフェール時の処理を明確に定義した。異常レベルを重要度別に0（軽度）～3（重度）の4段階に分類し、そのレベルに応じて2軸目と3軸目の操舵制御仕様を限定することによって重大な危険事象を抑制するとともに、可能な限り操舵機能を有効にするように配慮した（表1）。

レベル0では通常の制御を継続する。レベル1では、その異常が影響する軸に対してのみ、運転者による操舵操作により中立になった時点でそれ以降は中立を保持する。レベル2では、異常が影響する軸に対してのみ強制的に中立状態へ操舵作動し、それ以降は中立を保持する。レベル3では、異常が影響する軸に対しては即時保持状態とするとともに、直接影響が及ばない軸に対しても運転者による操舵操作により中立状態になった時点でそれ以降は中立を保持する。

### 2.3.4 安全の検証

従来の開発と同様に、ベンチチェックおよび実機における各制御仕様の確認に加え、故障モード影響度解析（Failure Mode and Effects Analysis, 以下FMEAという）に基づいた各故障モードにおける挙動の確認を徹底することによって制御システムを確立した。代表的な検証内容を以下に紹介する。

システム正常時の作動確認では各操舵モードの性能確認を実施する。その中でも、直進性はとくに重要な項目と位置付け、後軸の中立状態の要求仕様（±0.3°）に対して種々の条件における実機試験を行った結果、±0.15°以内に収まっていることを確認した。

つぎに、最も重要な検証であるフェール時の挙動確認では、蓄積データの有効活用をはじめとする操舵システムメーカーの協力を得ながらFMEAに基づいた検証を実施した。

その中でも、オンハイウェイモードにおけるスイング

表1 フェール時の処理  
Table 1 Definition of fail-safe

Error level	Axle2				Axle3			
	No effect	Lock next center	Move to center	Lock actual	No effect	Lock next center	Move to center	Lock actual
System level0	○				○			
System level1		○				○		
System level2			○				○	
System level3				○				○
Axle2 level0	○				○			
Axle2 level1		○			○			
Axle2 level2			○		○			
Axle2 level3				○		○		
Axle3 level0	○				○			
Axle3 level1	○					○		
Axle3 level2	○						○	
Axle3 level3		○						○

アウト試験は、安全上および欧州規制適応の観点からもとくに重要である。これは、3軸目の挙動としてFMEAのワーストケース（操舵制御比例弁ラインの天絡）とした場合に、運転者の操舵操作とは無関係に3軸目の操舵角度が急激に変化して車体後部が横振れ（スイングアウト）する量を確認する試験である。欧州規制は横振れ量が車幅の10%（本機種では約255mm）以内であるが、開発当初の実測では約300mmと許容できない結果となった。このとき、比例弁出力のフェール状態認識から3軸目の操舵作動を停止するためのチェック弁作動までに約220msを要しており、その結果として操舵角度が約5.4°変化していた。その応答時間を調べてみると油圧応答が支配的であった。そこで、この油圧応答性を改善しつつ、正常時の操舵精度を維持するために、チェック弁と比例弁の仕様見直しを実施した。その結果、最終仕様ではスイングアウト試験時の操舵角度を1°程度に抑えることができ、横振れ量も数十mm程度と全く問題ないレベルに上げることができた。

安全上および欧州規制適応の観点から重要なもう一つの試験として、オンハイウェイモードにおける3軸目最大操舵角度でロックした時の退避動作確認試験がある。これは、3軸目を最大操舵していた際に何らかの異常が発生してロック状態となった場合に、車体がある程度走行させて退避できるかを確認するものである。本機種では、オンハイウェイ時の3軸最大操舵角度である19°に固定した状態で1軸目の操舵操作のみで直進走行を実施し、容易な操作ではないものの退避できるレベルとの判断でクリアした（図8）。



図8 退避試験  
Fig. 8 Fail test

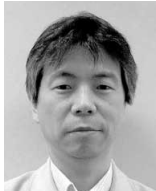
むすび＝シテークレーンに限らずクローラクレーンも含めた移動式クレーンでは、これからも商品力向上のための高機能・高性能化に対応するためにますます電子制御化が進むことになる。その際にも、本開発での取組み同様にフェール時の安全性・信頼性の確保が絶対条件であることを念頭に置いたシステムの構築および実装上の配慮が必須であると考えている。

今後も、機能・性能と安全性・信頼性のバランスを常に意識した商品を提供し続けることができるように努めたい。

(論文)

# クレーンの電子制御システムにおける安全性と信頼性の基本概念

## Basic Concepts of Safety and Reliability for Electronic Control Systems Embedded in Mobile Cranes



山下俊郎\*1

Toshiro YAMASHITA



下村耕一\*2

Koichi SHIMOMURA

This paper describes the design concepts for electronic control systems used in the mobile cranes manufactured by KOBELCO CRANES CO., LTD., focusing on safety and reliability. The main power system of the cranes is hydraulic, but highly functional electronic control systems, including data communication, have been developed and implemented for better control and operation. The highest priority in the design concepts of the electronic control systems is safety and reliability. The contents of the paper include the present status of electronic systems, our basic philosophy of safety and reliability, risks and risk assessment, verification of safety and reliability, and designs for functional safety.

まえがき＝現在の移動式クレーンの主要駆動部は油圧システムであるが、油圧回路だけでは実現できない操作性やエネルギー損失の低減、利便性の向上、および安全性の確保を目的に電子制御化が着々と進んでいる。

一方で、欧州の機械指令を受けて、電子機器を使った機械製品の安全性に関する国際規格が制定されつつある。1999年に制定されたIEC 61508は、安全レベルの定量化概念が強く意識された規格であったが、長い間、特定の分野に限定され個々の産業機械への適用は寛容で緩やかであった。しかし、電気自動車やハイブリッド電気自動車に代表されるように、一般利用される自動車のような機械でも電子制御が必須の技術となっており、安全性に関する国際規格ISO26262が自動車業界で施行されるに至っている。

こうした動きは、安全性に関する国際規格への対応促進の現れであり、様々な分野で安全性の明示化が求められている。移動式クレーンにおいては、欧州移動式クレーン規格EN13000でISO13849-1が引用され、欧州向けの機械に対しては必須の適用要件である。

グローバル戦略を打出すコベルコクレーン(株)としては、安全規格に則りつつ電子制御化を進める必要がある。また、目標とする信頼性を確保するには、電子制御の要となる汎用コントローラを中心とする電気制御システムの安全性および信頼性の考え方を一定に保ち、管理する必要がある。

本稿では、まずクレーン電子制御システムのハードを概括したあと、安全性と信頼性の関係とそれを確実に実現するプロセスを紹介し、具体的な取組を解説する。

### 1. 電子システム化の現状

移動式クレーンにおいて電子変換される入力情報には、ブーム角度やブーム長さ、各種圧力、安全保護装置用リミットスイッチに代表される状態量、各種切替え、設定などがある。これに対して出力情報には、油圧流量制御のための比例弁の開度、流れの遮断/通過を制御する電磁弁の開閉、表示機、リレーによる安全機能への切替えなどがある。

電子制御の基本的な処理の流れは、入力された物理量を電気的な信号に変換して論理演算を行ったあと、所要の出力(指令)を行う一連のものである。機能をなるべく集中して管理できるよう、コベルコクレーン(株)の汎用コントローラには多くのセンサやアクチュエータが接続され、入出力点数は100を超えている。さらに、インターロックなど安全確認ロジックも増大するため、一つの機能を実現する演算処理に対して多くの入力情報が交錯することになり、共有すべき情報は一つのコントローラではとても処理しきれなくなる。

そこで、コベルコクレーン(株)が新規に開発したホイールクレーンやクローラクレーンにおいては、共通バスCAN<sup>1)</sup>(Controller Area Network)を使った通信でコントローラ間の情報伝達を実現している。また、独自設計した汎用コントローラを複数個搭載し、個々に機能分化した分散システムを構築した。図1のクレーンシステム構成例では、汎用コントローラが4台、過負荷防止装置1台、さらにエンジン、走行系で各1台といったネットワークシステムを構築している。配線長が異なるこれらの通信ラインに対しては、ノイズに対応した配線設計を行

\*1 技術開発本部 電子技術研究所 \*2 コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部



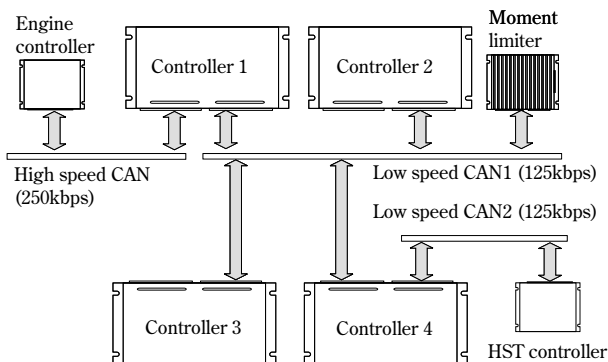


図1 コントローラネットワークシステム  
Fig. 1 Network of controller system

っている。また、高速帯域 (250kbps) が必要なラインはエンジン指令といった機器との接続に使用し、低速域 (125kbps) のCANラインとは切分けている。

## 2. 安全性と信頼性の考え方

移動式クレーンは、野外の建設現場で全天候環境下に置かれ、現場の作業者と連携してオペレータが操縦する機械である。また、工事計画の工程に大きく影響を及ぼす機械でもある。

その移動式クレーンの安全性とは、作業中や移動中、組立中など、いかなる状況においても危険な状態に陥らないことである。移動式クレーンにおける危険事象として、主に以下が考えられる。

- ・意図しない吊り荷の落下
- ・荷振れ
- ・機械の転倒
- ・ブームの旋回・起伏による周辺物との干渉
- ・走行時の接触・巻込

こうした危険事象を発生させないようにするためには、発生要因の全てを根絶させるか、あるいは許容可能な程度に発生確率を下げる対策を施さねばならない。

一方、移動式クレーンの信頼性とは、機能の継続性である。主な機能である巻上げ・巻下げ、伸縮、起伏、旋回および走行がトラブルなく動作し続ける、あるいは何らかのトラブルに対しても、ある制限下で動作し続けることが必要である。工事計画を遅滞させないことは信頼性のあかしでもある。

以下では、電子機器の信頼性の前提となる安全性に対する取組を述べ、さらに、その信頼性の実現方法の実際について紹介する。

## 3. 安全性

### 3.1 電子化に伴う危険源

移動式クレーンは、アフリカの高温地域からシベリアの極低温地域まで、あるいはサバンナの乾燥地域から東南アジアの多湿な地域まで、多彩な環境下で使用される。

また、移動式クレーンは他の建設機械に比べても高さのある構造物であるため、落雷などの危険にさらされる可能性もある。さらに、作業現場への移動に伴う機械の組立や解体の際、配線の断線、地絡、天絡などの電氣的

なトラブルを引起こさないように注意する必要がある。

通信環境も常に良好な状態に保たれるとは限らない。外界ノイズや配線に関連した不具合などが原因となって通信異常をきたす場合がある。本システムで採用しているCAN通信の規格ではハード的に着信確認を行っていないため、通信データが消失して問題が起きることも考えられる。

すなわち、移動式クレーンは、苛酷な自然環境下での稼働や組立/解体中での損傷、通信データ消失などの危険にさらされることを前提として安全な状態を確保する必要がある。

### 3.2 リスク低減プロセス

安全設計においては、まず、リスクアセスメントが必要である。危険源を同定してリスクを見積ったあと、リスク評価によって危険源を特定し、その危険源を取除く一連のプロセスの実施が必要である。

一例として移動式クレーンが搭載する過負荷防止装置を考える。この装置は、転倒限界を超えて吊り荷を操作しようとする自動停止させるものである。ジブやブームの長さおよび角度、旋回角度、シリンダ圧力などをセンサから取得し、機械に作用する転倒モーメントを算出する。その計算結果に基づき、転倒限界内で作業を行っているかを監視している。

ここで、これらセンサの異常も転倒原因となる危険源の一つとなる。そこで、転倒につながる危険源のリスクレベルを決定するため、ISO13849-1に定められるリスクグラフを使ったリスク分析 (見積・評価) を行う。リスクグラフは、影響度、頻度、回避性によって判別され、移動式クレーンにおける最悪状態のリスクレベル (要求パフォーマンスレベル  $PLr$ ) は図2のように順位付けられる。レベルが  $PLr < d$  以上ならば、基本的に危険源を取除きたい。もし取除けない場合は、1時間あたりの平均の危険側故障率を100万分の1以下に抑えるべきであることをISO13849-1は要求している。

またセンサ異常という危険源は、先にあげた断線、地絡、天絡、水濡れ、CPU異常などの考慮が必要との結論に至るが、例えば断線などの事象に対しては、センサ異常の検出機構を電子機器に設け、入力ポートが開放された際に電圧が想定範囲外になるように設計する。これによって、配線が断線していないかが検知でき、機械が危険状態に陥る可能性を排除することができる。

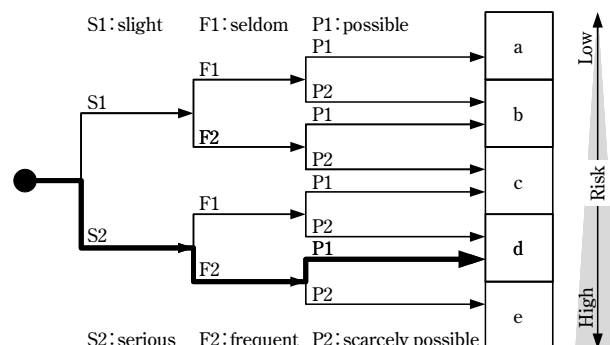


図2 リスクグラフ  
Fig. 2 Risk graph

### 3.3 システムの安全性検証

前節で述べたリスク低減プロセスに従って設計を実施した後、それらの安全性を確認するためには、各種のDR (Design Review) を通して設計方針の一貫性を保つ活動が有効である。しかし上述のように、移動式クレーンの電子化が進み、これまでの油圧・機械のシステムに比べて見えにくい危険源が増えてきた。このため、DRを実施する前に、一定の安全水準を確保する定式的な手法である故障モード影響解析<sup>2)</sup> (Failure Mode and Effects Analysis, 以下FMEAという) による安全性確認を行っている。危険源をコントローラ内部の部品の故障レベルとして、その影響度、頻度、回避性をFMEAによってランク付けし、危険源の影響を考察する。

コベルククレーン(株)の電子制御システムは機能分化したシステム構成のため、一つのコントローラにかかわるFMEAを実施すれば、その結果はあるまとまった機能に着目した検証になる。例えば走行コントローラのFMEAを実施すれば、走行系機能に着目した解析ができる。機能分化しているため、あえて階層化で分離するより、コントローラ内部の部品異常から機械全体に及ぼす影響までが確認できる。

走行系システムにおけるFMEAの適用例として、補助排気ブレーキ力が過大になる故障モード、すなわち最終段のアクチュエータ部分に対する水侵入を原因として、電流リーク、天絡、あるいはアクチュエータの機械的な故障などが発生し、制御不能な状態になる場合を考える。この故障モードの場合、結果として車両は止まる方向に作用するため、安全側故障として判断できる。しかし、さらに踏込んで、故障が発生したとしても不安全な状態に陥ることなく、機能の制限のみで使用し続けられるかという概念がある。この概念はディペンダビリティと呼ばれ、これに対する検討も行う必要がある。このケースでいえば、大きなブレーキ力が急にかかることによって走行安定性に問題が発生しないか、あるいはオペレータが慌てることによって問題が発生しないかという点までを検討する。最終的には、補助排気ブレーキ力が過大になることによって発生しうる最大のブレーキ力を実機検証の段階における確認項目として抽出した。実際の検証では、ブレーキ力がオペレータに及ぼす衝撃力の影響を確認した。

## 4. 信頼性

### 4.1 ハードウェア

電子機器の信頼性は一般的に、図3に示したようなバスタブ曲線<sup>3)</sup> で表現される。バスタブ曲線は、初期故障 (Early failure)、偶発故障 (Chance failure)、および摩耗故障 (Wear-out failure) の三つに区分するモデルで表され、実状ともよく一致している。これまでのクレーンでは、機械、あるいは油圧による制御機器が主に用いられていたが、これらの構成部品は自然環境による偶発的な故障は非常に少ない。このため、それらの寿命は摩耗故障によって決定するといつてよく、緩やかな変化を経て故障に至る場合が多い。

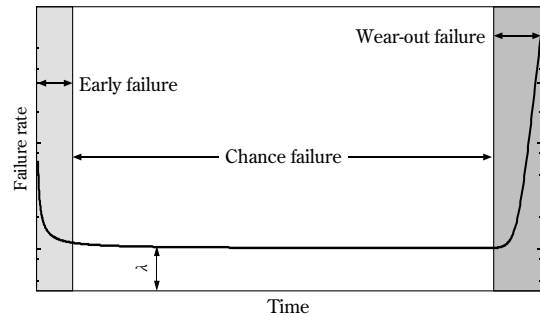


図3 バスタブ曲線  
Fig. 3 Bathtub curve

これに対して、電子機器の信頼性においては偶発故障期の故障率の扱い方が重要となる。クレーンにおける電子システムは、コントローラに代表されるように一様ではない多種の部品を集めたシステムである。それらの部品は、電波や雷などの電気的な要因による影響を他の機械類より受けやすい。システム設計時に想定しうる事象をあげ、そのレベルや頻度に応じた設計を行うのであるが、全ての自然事象のレベルを想定することは困難である。このため電子部品の故障は、偶発故障期に一定の故障率をもって事象が発現することを考える。

我々の使用する電子装置においては、データベースを基に各部品の故障率を計算し、機能停止を観点に影響度を考えて対処を行っている。ここでもFMEAを活用し、機能停止に対する顧客の損害を考慮して全体のレベルに一貫性をもたせている。

こういった特殊な状況をできる限り考慮に入れたうえで装置寿命を延ばす手法としてディレーティングがある。これは、温度、電圧などの加速 (ストレス) 要因に対して、定格の数分の1の状態で使用することによって装置の寿命を延ばすことが期待できるとする考え方に基づくものであり、実際に多くの場合に適用できる。したがって、ディレーティングを考慮することは設計を行ううえで重要である。また、ディレーティングを考慮することは、危険源に対するマージンが数倍に確保されるということでもあり、システム全体としての堅牢性を向上させることが期待できる。

電子部品の劣化では、抵抗の熱劣化や基板配線のマイグレーション、電界コンデンサのドライアップなどの典型的な劣化メカニズムが知られている。例えば、電界コンデンサは摩耗故障期的な現象で容量低下を招く。容量対コストの関係から、電源周辺にはアルミ電界コンデンサを使用することが多いなか、電子部品の中では温度上昇しやすい電源部には熱的劣化を考慮する必要がある。すなわち、アレニウス則を適用することによって想定寿命におけるコンデンサ容量を割り出さなければならない。容量の減少から想定される電源リップルなどの基本性能は設計時の確認試験項目として重要であり、偶発故障期の平均故障間隔<sup>4)</sup> (Mean Time Between Failure, 以下MTBFという) の考え方と区別して考察している。

### 4.2 ソフトウェア

機能・仕組みとして、また上述の活動例を通じてハードウェア的な信頼性が十分に確保できた。その一方で、

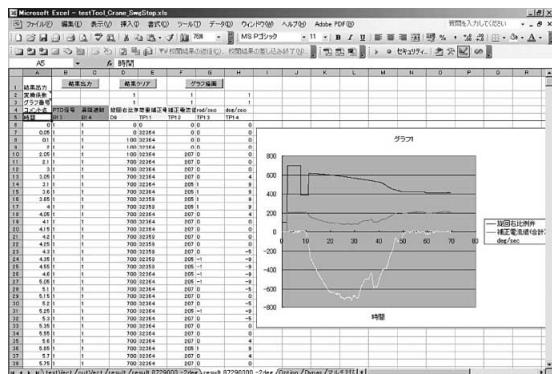


図4 Kme ツールの画面例

Fig. 4 Screen shot of KmeTool

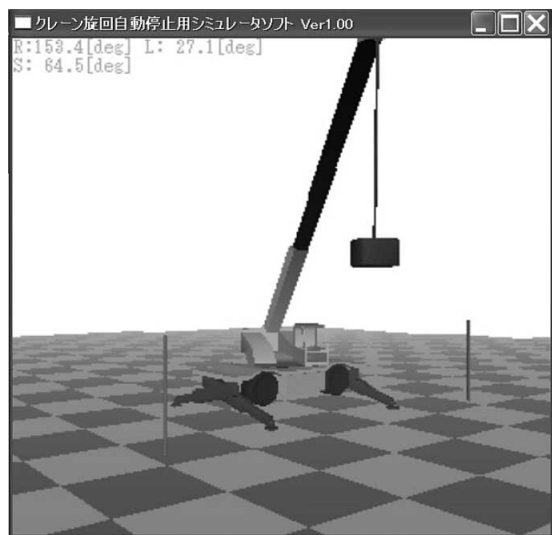


図5 事前解析画面例

Fig. 5 Screen shot of Crane Simulator

コントローラに対してはさらに、ソフトウェアによる機能の実現が必要となり、ソフトウェアに対する評価が求められる。ソフトウェアは、まずは要求仕様に基づいた静的な検証がなされるべきである。しかし、それだけでは仕様に織込まれていなかった問題を洗い出すことはできない。実機試験で全ての動作を検証することができれば問題ないが、あらゆる動作を検証することは事実上不可能である。

このため、ソフトウェア開発においてはシミュレータによる動的な検証が有効である。当社では、ソフトウェアの記述の正確さを確認する論理検証シミュレータとして「Kme ツール<sup>5)</sup>」(図4)を独自開発している。入力範囲と出力範囲が実環境下での論理範囲に入っているかどうかを確認できる。既存の機械からの情報を元に、現実的な数値範囲を検証している。さらに、動的な振舞いに対しても、実機試験の前にシミュレータによる検証を行うことは実機試験での確認ポイントを明らかにするうえでも重要であると考えられる。図5に、コベルコクレーン(株)が開発したクレーンを対象とした動作シミュレータ<sup>5)</sup>の画面例を示す。

## 5. 安全性と信頼性の両立

安全性を確実にするには、まず安全を“本質安全”と“機能安全”に切分けて考える必要がある。

まず、本質安全とは、危険源を根本的に排除する考え方である。例えば、移動式クレーンには、吊り荷の落下防止のためのカウンタバランス弁と呼ばれる油圧機構を設けている。これは、吊り荷時に発生する油圧のバランスを取る機構であり、途中の油圧配管が損傷した場合でも吊り荷が落下することを防ぐ。すなわち、カウンタバランス弁は、途中配管の損傷といった危険要因に対して、吊り荷の落下を根本的に解消することによって本質安全を確保している。

これに対して、本質安全としては対処できない、すなわち機械の目的機能を遂行する限り排除できない危険源や危険事象が存在する場合に、その危険事象の影響度、頻度、回避性を知ったうえで、その発生確率を許容できる範囲まで低減するとの考え方が機能安全である。

クレーン作業中のオペレータは、転倒の可能性のある体勢や荷重超過とならないよう注意を払って作業を進めているが、何らかの操作ミスによって安全領域を外れた場合においても、その危険を認識して停止させるのが先にあげた過負荷防止装置である。転倒しないよう、センサ計測によってブームの角度、荷重などを常時監視して安全を確保するには必須の装置である。ここでもし、センサが本来の値より軽いと判断する故障が発生したとき、不安定な領域でも動作が可能になってしまう。すなわち、過負荷防止装置が機能を失い、転倒事故という重大な危険事象に陥る。

そこで、転倒事故の影響度、頻度、回避性に応じた許容発生確率を導出し、その値が許容値以下となるようなセンサ系の冗長性や判断ロジックを設計するのが機能安全である。危険事象の発生確率を許容範囲まで低減するには、信頼性の確保に用いたのと同様の手法が適用できる。ただし、安全側故障と危険側故障を区別して扱う必要がある。上述の過負荷防止装置の例では、センサが本来の値より“重い”と判断する故障は、機能が停止したり制限されたりするが、危険事象には至らない安全側故障である。事前の安全性検討の段階で、危険側故障と安全側故障の比率を指標に、後者が多くなるようシステム設計することが肝要である。

機能安全は確率的手法に基づいているため、信頼性確保と同様にシステムの冗長化(並列化)対策が有効である。しかし、冗長化は一般に部品点数を増加させるため、各部品の信頼性が同じであれば、安全側故障をむやみに増やしてシステム全体に対する信頼性の低下(どこかが故障する状態が頻発し、すぐに機械が停止してしまう状態)に陥ることが懸念される。ここに、安全性と信頼性の“やっかいな軋轢(あつれき)”問題が生じる。

当社は以下の安全設計方針に基づき、安全性と信頼性の両立を目指す。

まず本質安全の追求を試み、そこに至ることのできなかった事象に絞って機能安全を検討する。危険度に応じて危険側故障の目標確率を定め、目標を明示化する。重大危険事象に対しては厳しい低確率化が要求されるため、その対策は過大な検討労力や装備を伴う。このため、機能安全として捉えるべき事象は厳選することが肝



要である。そのためには、システム全体にわたる構成のシンプルさの追求が一つの指導原理となる。例えば、信号入力から出力までの直列構成の部品点数の削減を検討する、あるいは、まずは実績の多い汎用的で信頼性の高い部品での検討を行う、といった思想が大切である。安全信頼性レベルの可視化確認には、まず定性的にはFMEAなどを用いたDR (Design Review) を行い、次に定量的判断としてMTBFなどによる数値比較を行うことが有効である。

ソフトウェア品質確保においても、上記ハードウェア同様の安全確保の思想継承が必要である。その場合、開発を補助するツール（エミュレータやシミュレータ）の開発が有効であり、制御アルゴリズムの論理の確実な実装と、その系統的な動作確認を周到に記録できることが重要である。開発期間の短縮、初期不良の削減、および偶発期におけるシステムの堅牢性の確保は常に改善が要求される問題である。こうした問題に対してシミュレーション技術を活用することにより、要求事項を可視化して確認できることから効果を上げている。設計仕様フィールドバックする際にもこれらシミュレーション技術が役立っている。

以上、安全性と信頼性を両立させるには、プロセスやツールを活用した設計方針を首尾一貫させることが欠かせないと結論する。ただ、設計仕様作成や実装などの各プロセスにおいては、技能レベルによって手戻りが多く発生するなど、品質を改善する余地がまだまだある。事業環境が変化するなかで安全性確保のプロセス自体の改善は継続的に続けていくことが必要である。

**むすび**＝安全性に関する国際規格においては、安全レベルの定量化とその明示化が進んでいる。そうしたなか、移動式クレーンにおける安全性の考えを示し、当社における取組み方を実例を交えて述べてきた。さらに、大規模になりつつある電子制御装置を用いたシステムに対する信頼性についても、その考え方と設計の基本コンセプトを述べた。

また、製品の安全性と信頼性の両立は重要な課題であり、全体システムとして品質を確保するためには各機能レベルに一貫性をもたせる活動が重要であることを述べた。コベルコクレーン(株)では、国内でも早い段階から機能安全規格に対する検討を進めてきており、全体システムとして品質を確保する活動を行っている。そして、そうした活動を通して、欧州移動式クレーン規格を満足する安全電子システムを構築すると同時に、より機械停止の少ない高い信頼性を確保する取組を続けている。そうした取組に不可欠となる支援ツールなどの開発によってこそ、安全性と信頼性を両立させた機械がより効率的に提供できるものと考え、プロセスの改善を継続する所存である。

#### 参 考 文 献

- 1) Robert Bosch GmbH. CAN Specification 2.0. Part B, 1991.
- 2) 鈴木順二郎ほか. FMEA・FTA 実施法—信頼性・安全性解析と評価, 日科技連, 1982.
- 3) 原田耕介ほか. 信頼性工学. 養賢堂, 1977, p.8.
- 4) 原田耕介ほか. 信頼性工学. 養賢堂, 1977, p.6.
- 5) 下村耕一. 新型ホイールクレーンにおける安全技術—走行およびクレーン作業における安全性追求 (特集 建設機械の安全技術). 建設機械. 日本工業出版. 2010, Vol.46, No.2, p.30.

(技術資料)

# シテークレーンのプレス曲げブームにおける高剛性 軽量化技術

## New Technology for Highly-rigid and Lightweight Telescoping Booms for Wheel Cranes, Fabricated by Bended Metal Sheets



中山浩樹\*1

Hiroki NAKAYAMA

A wheel crane with a 70 tonne lifting capacity has been newly developed by KOBELCO CRANES CO., LTD. The crane's weight was reduced to less than 40 tonne by new designs for all components, particularly for the telescoping boom. As a result, the crane has satisfied Japanese regulations for being driven in the daytime, a first for 70 tonne class cranes. Compared with our existing cranes, the new crane has a greater lifting capacity, and its boom, when fully extended, is longer and, when fully retracted, shorter. Thus the new crane is not only compact and lightweight, but also scores high in capability and mobility.

まえがき＝クレーンは近年、現場での作業効率向上のため、大型化・高性能化が推し進められている。公道を自走するホイールクレーンにおいてもその傾向は顕著である。ホイールクレーンは、自動車としての質量規制を受けながら高性能化を達成する必要があるため、軽量化技術が商品力強化の鍵となっている。同時に、道路通行規制厳格運用化の中で、コンプライアンスを順守しながら、よりスムーズかつ安全に現場間を移動したいというニーズも強まっている。

一般に、道路を走行する車両は、運行時の安全確保、道路保全の観点から「道路運送車両の保安基準」および「道路法第47条、車両制限令第3条」により車長、車幅、車高、質量などの規制を受ける。とくに大型のクレーン車は車両制限令の一般制限値を超える車両が多く、道路通行に際しては「特殊な車両」として道路管理者へ特殊車両通行許可申請を行い、許可証の交付を受けなくてはならない。このとき、安全確保と道路保全の観点からA～Dに区分される通行条件が付与され、道路通行時の条件（制限）が設けられる。

車両が大きく、重くなるほど通行条件はDに近づき、徐行、連行の禁止、誘導車配置、通行時間など条件は多くまた厳しくなっていく。したがってホイールクレーンは、軽量コンパクトにすることによって走行利便性が大幅に向上する。

ホイールクレーンを取巻くこのような環境の下、コベルククレーン(株)は公道走行可能な最大吊荷重70tのホイールクレーンを開発した。

開発機では、軽量・コンパクト・クラス最高の吊揚程を備える機械にするため、従来の4プレートブームに替えてプレス曲げブームを採用し、徹底した質量軽減を図

った。さらに、適用される通行条件を緩和するために、車両総重量の低減と走行姿勢時のコンパクト化を徹底的に追求した。

### 1. 開発目標と開発機の特徴

具体的な開発目標は下記のとおりである。図1には従来機と開発機のサイズ比較を示す。

- ・最大吊荷重：70t（従来機51t）
- ・ブーム全伸長：48m（従来機39m）
- ・車両車軸：4軸（従来機2軸）
- ・車両総重量：40t未満（従来機38.895t）
- ・車体全長：12m未満（従来機12.33m）

上記の目標を達成するため、ブーム全縮長を9.5m（従来機10.16m）とした。さらに、全伸長は従来機（39m）を上回る48mを達成するため、7段構成（従来機5段）

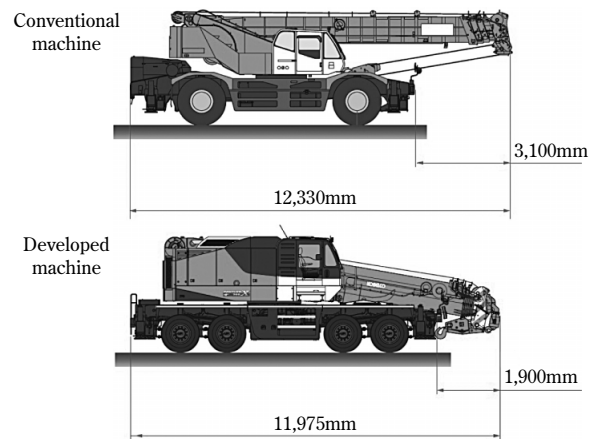


図1 開発機（70t）機と従来機（50t機）のサイズ比較  
Fig. 1 Size comparison between developed and conventional machines

\*1コベルククレーン(株) 開発本部 要素開発部

とした。その結果、車両からのブーム突出長を3.1mから1.9mに大幅に減少させることができ（図1）、車両全長11.975mを達成した。

また、上記の車両コンパクト化に加え、車軸の増加、最大吊荷重、および最大揚程の向上を達成しながら、同時に車両総重量を39.995t（従来機比1.1t増）に抑えることができた。その結果、車両通行条件のD条件が適用される50～70tクラスの機械としては初めてC条件に適合する機械となり、昼間走行を可能にしたことにより、現場間移動にかかわるオペレータの負荷軽減に貢献している。

上記のような車両の軽量化・コンパクト化を図る一方で、ブーム全伸長をクラス最長の48mとし、1クラス上位機種種の作業も代替できる高所作業性を実現した。

ホイールクレーンのブームには入れ子式が用いられる。走行時のコンパクト性を目指せば作業時の最長ブーム長も短くなる。逆に、作業時のブーム長を重視すれば走行時の最縮ブーム長が長くなり、移動利便性や走行安全性を阻害する。

本開発機は、従来機の5段ブーム（入れ子式で4段分のブームが伸長する）から7段ブームへの多段化を図ると同時に、ブーム全伸長は従来機の39mから48mへと大幅な長尺化を図った。多段化、長尺化は大幅な質量増加要因であるため、本開発では下記3点の取組による徹底的な質量軽減を実施した。

- ①ブーム間の摺動（しゅうどう）装置（以下、スライディングパッド、あるいはパッドという）を改良し、より狭いスペースで配置できるようにした。
- ②最軽量になるよう、断面形状を最適化した。
- ③有限要素解析を用いて詳細な強度評価を行い、ブーム付属構造物における強度上余分な質量を徹底的に排除した。

以下に、上記3点について詳述する。

## 2. ブーム構成

70t機のブーム構成を図2に示す。全縮長9.5m、全伸長48mの7段入れ子式ブームである。ブーム内にはロッドが2段階伸長する2本の伸縮シリンダが内蔵されており、2～4段を単独で伸縮させ、ワイヤロープとシーブを用いて5・6・7段を同時伸縮させる。

図3に70t機のブーム断面形状を示す。上半分は両隅にRを持つコの字形状であり、下半分は全体にRで構成されたU字形状である。ブーム間には隙間を設けており、先端側のブームは隙間分だけ断面が小さくなるが、

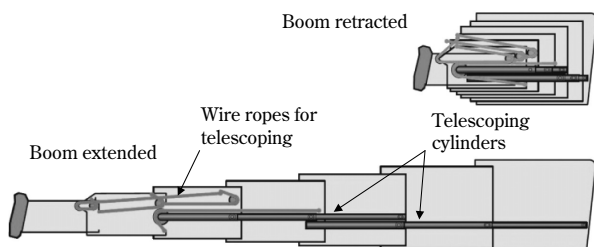


図2 70t機ブーム構成  
Fig. 2 Composition of developed boom

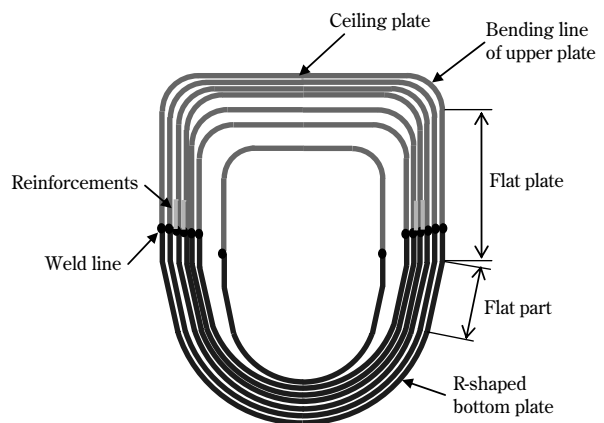


図3 70t機ブーム断面形状  
Fig. 3 Section shape of developed boom

全段ほぼ相似形としている。

ブームの前端内側と後端外側には、ブームを滑らかに摺動させるため、また、吊荷重を効率よく後方ブームに伝達させるために樹脂製パッドが設置されている。ブーム後端には、ブーム剛性の増強やパッド収納、伸縮装置（シリンダ、ロープ、シーブ）の係留を目的としてブーム断面とほぼ同じ形状のサイドプレート（溶接している）を溶接している。

## 3. パッド構成の工夫による軽量化

プレス曲げブームの場合、ブーム間に設置するスライディングパッドの構成がブーム質量に大きく影響する。スライディングパッドを厚くすると、ブーム間の隙間を大きく取る必要が生じ、先端側に行くほどブームの断面を小さくせざるを得なくなる。また、パッドの固定に（長手方向の）空間を使用すると、ブーム伸長時の差込み長が短くなってしまふ。パッドをコンパクトにブーム内に配置しないと強度・剛性上著しく不利な設計を強いられることになる。

以上の理由から、軽量化に重要な要素として、プレス曲げブーム用の各種パッドを新たに開発した。それらのパッドのなかで、ブーム前端下部に取付けるパッドについて以下に詳述する。

### 3.1 4プレートブームのパッド構成

4プレートブームのパッド構成を図4に示す。4プレートブームの前端下部パッドは、底板と側板下部に左右1対ずつ計4箇所（箇所）に設けている。このため、ブームの全縮状態において側板パッドの取付けに必要な長さだけ各段が突き出た格好になっている。

ここで、全縮状態でブーム各段の突出長を大きくとると、構造上の大きなデメリットが生じる。つまり、ブームを伸長した際、側板パッドを取付けるスペースが不要で突出長0mmのブームに比較して、同じ全伸長であれば差込み長を短くできる。逆に、差込み長を同等に保つと全伸長が短くなる。とくに、先端側では後方ブームの突出長が累積するため、例えば、突出長が100mmの7段ブームであれば、差込み長が先端で600mm長くなる。差込み長はブームの強度・剛性に直結するため、本パッド構成は軽量化の大きな妨げとなる。



また、底板パッドは上記突出長より長い、外側ブームの内面にパッドを保持するパッドキャリアを溶接しており、外側からパッドキャリアとパッドを固定できるようにしている。このため、ブーム底板には固定用の孔を設けている。4プレートブームであれば、孔を設けるため周囲を張り板補強することができるが、プレス曲げブームでは曲面に張り板補強することになり現実的ではない。

### 3.2 ブーム前端下部パッドの構成

今回採用したブーム前端下部パッドの構成を図5に示す。70t機のパッド構成は、パッドキャリアと短冊状のパッドからなる。R部分のパッドキャリアは、樹脂平板にパッドを取める溝を掘り、さらにそれらの溝間に切込み溝を入れることによってブームRに沿わせるように曲げ加工して構成している。パッドキャリアは容易に組立られるよう、中央と左右の3枚に分割している。

ブームの内面にはストッパ(鋼板)が溶接されており、ストッパの前端面がパッドキャリア後端面を支持し、パッドキャリアが後方へ脱落するのを防止している。

本パッド構成の利点は下記のとおりである。まず、ストッパおよびブーム前端部からボルト止めするパッドカバーでパッドを固定するため、ブーム長手方向と厚み方向のスペースが最小で抑えられる。また、パッドはパッ

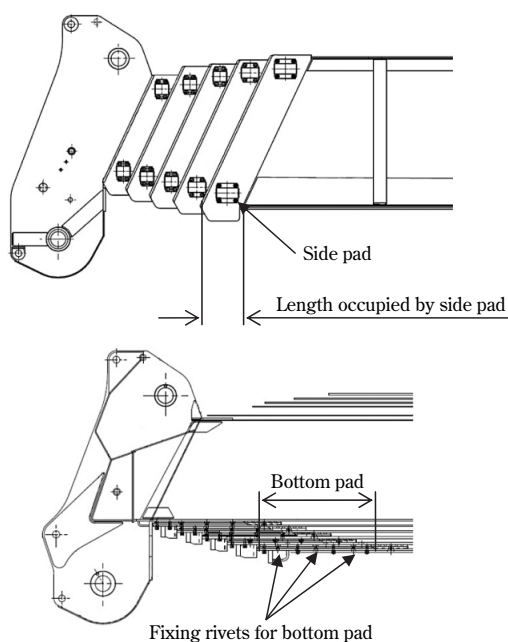


図4 ブームのスライディングパッドの構成(上:外観,下:断面)  
Fig. 4 Composition of sliding pads for 4 plate-boom (upper: outside view, lower: inside view)

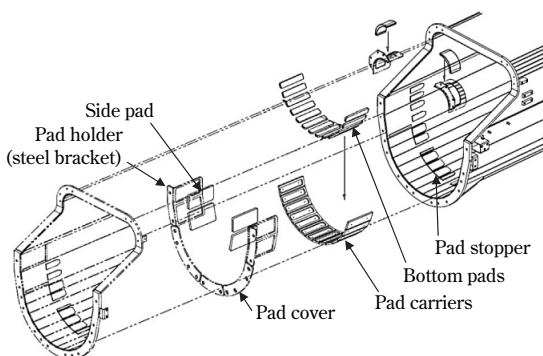


図5 70t機のスライディングパッドの構成  
Fig. 5 Composition of sliding pads for developed boom

ドキャリアにはめあわせているだけで固定していない。このため、ブームの製作誤差に応じた厚みのパッドを選択することができ、実R形状にフィットしたパッドとすることができる。

以上の利点から、ブームの断面および差込み長を最大化することが可能となり、軽量化に大きく貢献した。

### 4. ブーム断面形状最適化による軽量化

ブーム断面は、両隅にRを持つコの字形の上部、およびブーム幅を直径とする半円を含むU字形の下部を側面となる平板で溶接接合した単純形状(図6左側断面)を基本的な形状とした。その後、質量の軽減を図りつつ断面の耐座屈性能を向上させてきた。

70t機で採用したブーム断面の形状を、図6右側、および、比較しやすいよう、左側に点線で示した。底部R形状はブーム幅より小さい直径からなる円弧とし、その円弧と側板を円弧の接線で結んだ。この形状の利点は、下記4点である。

①基本断面より断面積が小さくなり、軽量化を図れる。

図6左に示した基本形状(実線)と70t機断面(点線)を比較すると、平板部とR部で基本断面より断面線長が短くなっていることがわかる。

②円弧が小さくなり、弾塑性座屈が起こりにくくなる。

同じく図6で比較すると、70t機断面の方が、底板R形状が小さくなっていることがわかる。断面2次モーメントが減少し、はりとしての座屈は起こしやすくなるが、円弧が小さくなり、壁面座屈を起こしにくくなる。板厚とRの大きさで座屈荷重が最大となる組み合わせが存在し、今回はその最適値に近い構成を、平板部を取り入れることで実現した。

③側板の座屈板幅(断面では高さ)が短くなり、側板座屈が起こりにくくなる。

図6の左右断面を比較すると、側板平板部は70t機断面の方が、(高さ方向の)幅が低い。これにより側板の壁面座屈が生じにくくなる。

④側板の圧縮力が作用する範囲(断面下側)が減るため、側板座屈が起こりにくくなる。

図6の左右断面を比較すると、側板平板部は70t機断面の方が高い位置にある。吊荷重時、ブームは曲

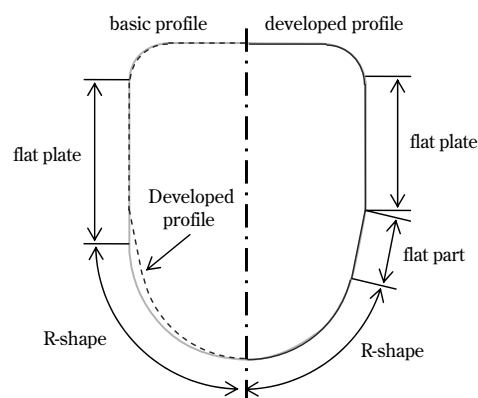


図6 ブーム断面の基本形状と70t機の形状の比較  
Fig. 6 Comparison between basic and developed profiles of the boom section

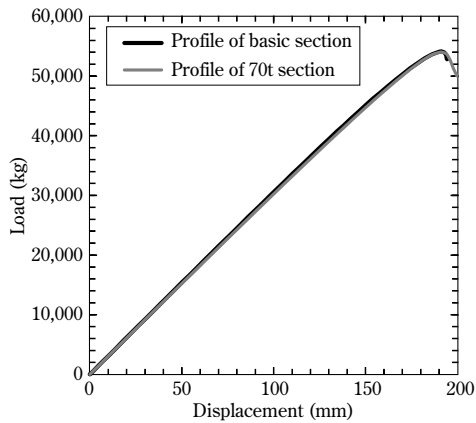


図7 基本形状と70t機形状の強度比較

Fig. 7 Comparison of strength between basic and developed sections

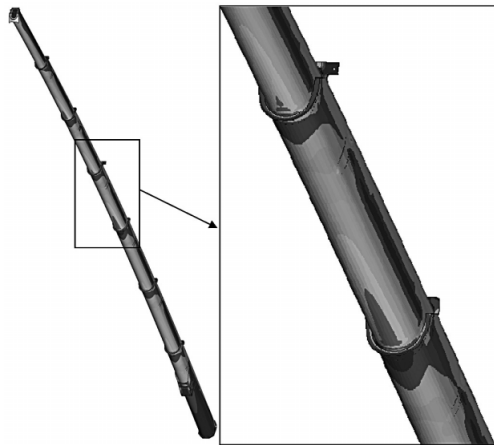


図8 ブーム有限要素解析結果例（全伸・定格総荷重吊り時ブーム表面応力分布）

Fig. 8 Result of FEM analysis for developed boom (Stress distribution on surface of entire boom with boom fully extended and maximum lifting weight applied)

げ荷重を受けるため、断面上部が引張応力域で下部が圧縮応力域になる。平板部がより引張領域に位置するため、壁面座屈は生じにくくなる。

基本形状および70t機断面形状の2段ブームを対象に有限要素法(FEM)による弾塑性解析を行った。図7にその結果（荷重-変位曲線）を示す。両者の最大荷重に大きな差はなく、断面積を小さくしながら同等の性能が得られることがわかる。一方で、70t機断面では断面積減少により、基本ブームで10kg、7段ブーム全段で約40kgの軽量化を達成した。

最適化された断面形状をもとに、汎用有限要素解析ソフト「ABAQUS」を用いて強度・剛性評価を実施した（図8）。スライディングパッド部の接触解析、ブームたわみを考慮した大変形解析などの非線形解析を実施することによってより実現象に近い挙動を解析評価することができ、軽量化に貢献した。なお、数値解析による評価に加え、実機を用いたひずみ計測によっても強度の確認を行っている。

## 5. ブームサイドプレートの軽量化

### 5.1 軽量化の考え方

ブーム本体を軽量化した後、ブームに付属する構造物の軽量化に取り組んだ。ここでは、サイドプレート（図9）

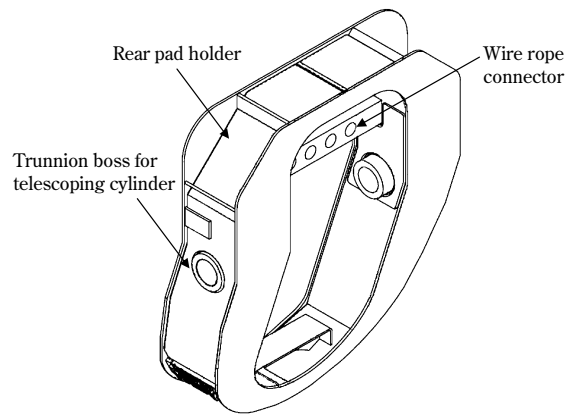


図9 70t機4段ブームサイドプレート

Fig. 9 Side plate of 4th boom

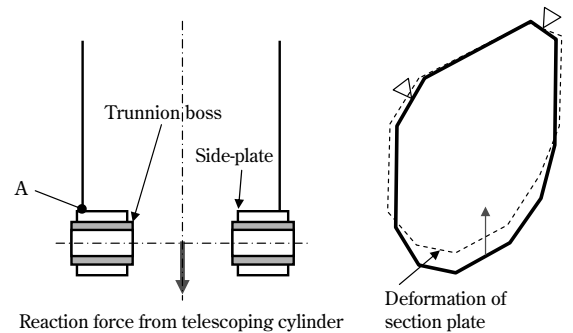


図10 4段サイドプレート構造の模式化

Fig.10 Schematic of side plate

(left : section of side-plate, right : typical deformation of side-plate)

と呼ばれるブーム後端の補剛部材のうちの4段ブームサイドプレートを取上げる。

サイドプレートの役割は、突上げ反力に対する荷重支持、パッドの保持および伸縮機構の締結である。各段のサイドプレートには隣接するブームとの荷重伝達を行うパッドが設けられており、とくに上方に設けられたパッドには突上げ力の反力が作用する。また、2～5段ブームのサイドプレートには伸縮シリンダが締結され、4段、6段ブームには伸縮ロープが係留される。これらの伸縮機構による反力も荷重として作用する。

4段ブームサイドプレートの構造および変形様式を模式化すると図10のようになる。図10の左図は、図9の水平断面を示している。サイドプレートは左右一対の箱状補強部材から構成されており、図10右に示すように、上部パッド（△部）を拘束され、上方に押し付けられるような荷重を受ける。

したがって、パッド反力に耐えうる構造としては、パッドにつながる縦方向部材の座屈を防止し、図10右に破線で示したようなブーム断面の潰れを防止する構造でなければならない。そのため、左右一対のボックス状に形成した上で、天板、底板付近もできる限り部材の高さを稼ぎ、座屈・断面潰れに対応する。

一方、サイドプレートに設けられた伸縮シリンダ締結ボスは、伸縮シリンダの反力を図10左図に示した方向に受ける。このとき、ブーム側板とサイドプレートの締結部（A部）にはモーメントが作用する。したがってこの部分は、ブームとサイドプレートの溶接を段差なく、溶

接線長を長くするように接合しないと応力集中が発生しやすいことがわかる。

以上の考え方で構造を決定し、FEM解析結果に基づいた板厚の検討を行うことによって軽量のサイドプレートを設計することができる。

## 5.2 FEM解析による軽量化

プレス曲げブームでは4プレートブームより板が薄いためパッドが接触するブームの剛性が比較的低い。そのため変形しやすいことやブーム本体が曲面で接触することなどから、パッド側に等価な拘束条件を導入してブーム単体でモデル化することが難しい。そのため、評価対象サイドプレート（ここでは4段サイドプレート）とその外側で形成する差込み部をモデル化し、パッドとブーム本体との間で接触境界条件を与えた非線形FEM解析を実施した。荷重条件として、4段ブームの先端に吊荷重を負荷し、3段ブームの後端を固定とした。

図11に解析に用いたモデルと境界条件を示す。サイ

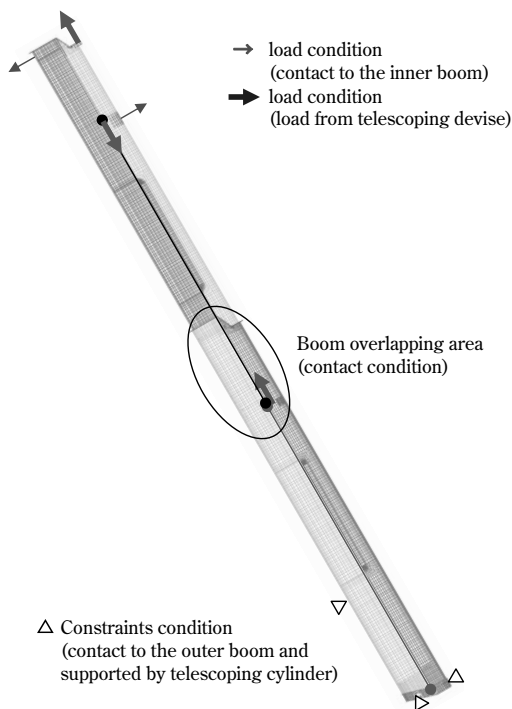


図11 4段サイドプレートのFEMモデル図と境界条件

Fig.11 Finite element model and boundary condition for 4th boom

ドプレートにとって最も過酷な条件として、差込み前端部のモーメントが最大となる条件、および4段後端上部パッドの突上げ反力が最大となる条件の2ケースを選択した。

このようにしてすべての段のサイドプレートを対象に有限要素解析を実施することにより、質量を最小限に抑えることができた。

## 6. 軽量化のまとめ

70t機ブームに対して、パッド構成の工夫、ブーム断面形状の最適化および付属構造物の徹底的な軽量化により、50t機である従来機と質量は同等でありながらブーム最伸長を23%長く、最縮長を7%短くするなど、従来機を大幅に上回る性能(表1)を有する機械とすることができた。

表1 70t機と従来機(50t機)のブーム能力比較

Table 1 Comparison of lifting capacity between developed and conventional machines

	Developed machine	Conventional machine
Extended boom length (m)	48	39
Retracted boom length (m)	9.5	10.16
Number of sections	7	5
Maximum lifting capacity (ton)	70	51
Weight of steel works	Equivalent	

むすび=70t機のブーム開発では、パッド構成、断面形状、サイドプレートの最適化を合わせて同時に取組んだ結果、1クラス上位のブーム長を実現させることができた。

今後は、本プレス曲げブームの軽量化・高剛性化技術を用いて他機種への展開を進めるとともに、作りやすさも追求した低コスト高付加価値ブームの開発を行っていく所存である。



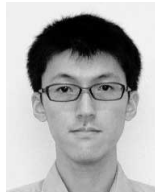
(解説)

## クレーン用キャブの強度・剛性・乗心地の評価技術

### Technology for Evaluating Strength, Stiffness, and Riding Comfort of Mobile Cranes



朽木聖綱\*1  
Kiyotsuna KUCHIKI



細井英彰\*1  
Hideaki HOSOI



川端将司\*2  
Masashi KAWABATA



森 辰宗\*2  
Yoshimune MORI

Evaluation technology based on simulation analyses of strength, stiffness and riding comfort in cabins, has been applied in the development, prior to production, of wheel and lattice boom crawler cranes. This front-loading evaluation technology was found to be precise and effective in reducing the amount of backtracking necessary to finalize the structure. The technology has been developed in association with the Mechanical Engineering Research Laboratory, Technical Development Group, Kobe Steel, Ltd.

まえがき＝昨今の厳しい経済環境の中、図1に示すようなコベルコクレーン(株)の移動式クレーン(以下、クレーンという)においても従来以上に低価格・高品質な機械をタイムリーに開発することが重要となってきている。また、輸送規制や道交法規制順守もより厳しく求められてきており、さらなるコンパクト化・軽量化は必須である。

それら要件を達成するため、機械の要素ごとに厳しい性能達成要求が与えられており、キャブに対しても従来の軽量・高剛性化に加え、合理的な構造による材料費・加工費の削減や無駄のない効率的な設計による開発期間の短縮が求められている。

また、外観上の差別化としてデザイン性も重要アイテムとなってきているが、これは軽量・高剛性化と相反する面が多く、いかに高いレベルで両立できるかがポイントとなる。



図1 クローラクレーン  
Fig. 1 Latticed boom crawler crane

なお、本稿で扱うキャブとはオペレータが機械を操作するための運転席のことであり、クレーン本体に搭載されている。

キャブ開発の進め方としては、モックアップを作製しそれを改造しながら目標要件をクリアする方法と、数値解析を駆使して事前検討を厚くし、できる限り課題を解消した上で商品を作製して性能を確認する方法がある。

以前は、数値解析技術の稚拙さによる解析結果の信頼性の低さに加え、解析モデルの作成に膨大な時間がかかっていたことから、モックアップによる方法が進められることが多かった。一方、モックアップでの検討においても、改造では不十分な大きな構造変更が必要な際には作り直す必要があり、効率が悪くなる。さらに、改造のための期間や費用も膨大となり、そのことが十分に検討を尽くす上での制約となるなどの課題を抱えていた。

現在では、コンピュータ性能や解析技術の向上が図られたことによって解析精度や結果の信頼性が著しく向上している。また、プリプロセッサの性能や機能の充実により、解析モデル作成の手間やスピードも十分に実用的なレベルに達している。さらに、数値解析上での試行錯誤においては、大きな構造変更に対してもモックアップでの検討より容易に対応できる。試作機製作後の性能確認はまだ必要であるものの、開発トータルとしての検討期間・費用は大幅に削減できる。したがって、クレーン業界だけでなく全ての製造業界において、数値解析による事前検討の充実に重みが置かれるようになりつつある。

今回、ホイールクレーンおよび汎用クローラクレーン用の新キャブ開発にあたり、これまで(株)神戸製鋼所技術開発本部機械研究所と共同で培ってきた数値解析による事前評価技術を適用したので、その事例を紹介する。

\*1コベルコクレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*2技術開発本部 機械研究所

## 1. キャブに求められる性能

キャブに求められる性能としては、運転中や輸送中などに受ける外力に対する強度や、作業中にオペレータが感じる振動に関係する乗心地性がある。一方で、オペレータの視界性や居住性も非常に重要な性能である。キャブを構成するピラーを太くして窓も小さくした方が強度性能を高めるためには有利である反面、オペレータの操作性や快適性には悪影響を及ぼす。すなわち、強度性能・乗心地性と視界性・居住性は相反する要求性能となっている。

したがって、それら全ての要求性能を満足させるためには、構造的に高いレベルでの両立を図る必要が出てくる。

## 2. キャブの検討手順

キャブ開発時における強度・剛性・乗心地の評価手順を図2に示す。

従来開発ではベンチ試験や実機試験での作り込みが主であったが、今回の開発では評価のフロントローディング化を図り、シミュレーション解析評価を充実させた。

以下に各開発工程での評価方法に関して解説していく。

### 2.1 キャブ単体評価

#### 2.1.1 簡易解析

簡易解析では、キャブ全体系の動剛性を評価する。機械デザイン決定後にその動剛性を盛り込んだ設計に入るが、詳細設計に入る前の外形寸法が決まった段階で、ビーム要素と集中質量、およびシェル要素による簡易解析モデルによってキャブ全体系の固有値解析を実施する。この解析により、目標動剛性を達成するための主要構造部材の構成と必要断面性能の目安をつけ、解析結果を基にして詳細設計を行っていく。解析ツールは、汎用の有限要素解析コードMSC/NASTRANを使用している。

解析モデルおよび固有値解析結果をそれぞれ図3、図4に示す。

#### 2.1.2 詳細解析

詳細解析では、キャブ全体系の動剛性、パネル動剛性、および疲労強度を評価する。

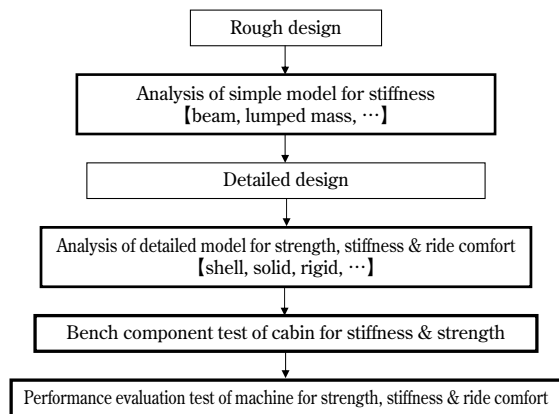


図2 キャブ剛性・強度・乗心地評価フロー

Fig. 2 Evaluation flow chart for cabin's strength, stiffness & ride comfort

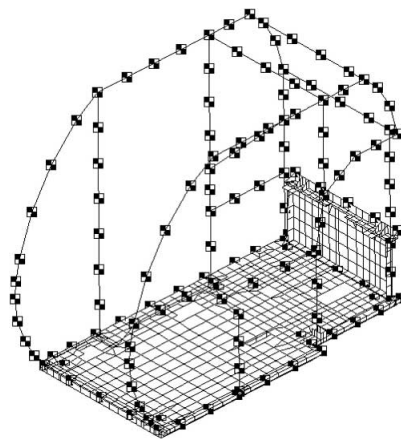


図3 簡易解析モデル  
Fig. 3 Simple analytical model

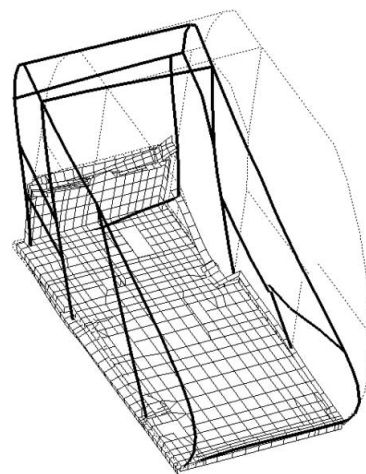


図4 固有値解析結果  
Fig. 4 Mode shape of cabin

コベルコクレーン(株)では3D-CADを導入し、3Dモデルによる詳細設計を行っている。その3Dモデルを活用してワイヤフレームモデルを作成することにより、解析用データの作成時間短縮を図っている。3D-CADシステムは、付加機能の一つとしてFEM解析機能を備えており、その機能を使用することによってさらなる時間短縮が可能である。しかし、利用可能な要素が少なく、キャブのような薄板構造物に対しては満足な解析精度が得られる要素が備わっていない。このため、現時点では解析ツールとしてMSC/NASTRANを使用している。

解析モデルの作成にあたっては、図5のように、シェル要素、ソリッド要素、リジッド要素などを使用している。さらに、ボルト結合部や板合わせ部分などの非線形性が強くモデル化が困難な部分にはばね要素を用い、従来の解析実績に基づく等価ばね定数を与えている。

詳細解析ではまず、キャブ全体系の固有値解析によって対象モードの固有振動数が目標以上にあるかを確認し、主要構造の妥当性を評価する(図6)。これにより、通常は主要構造物の公称強度も達成される。また、併せて振動乗心地に影響を与えるフロアプレート部の動剛性、およびキャブ内騒音に影響を与えるキャブ側板・背板の動剛性も確認する(図7)。

つぎに、単位加速度を作用させた静的応力解析、および実機計測によって把握したキャブ作用力を外力とした



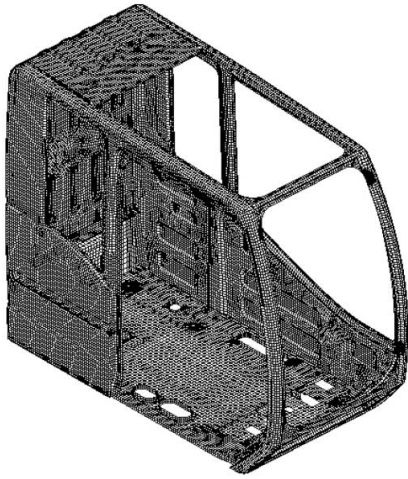


図5 有限要素モデル  
Fig. 5 Finite element model

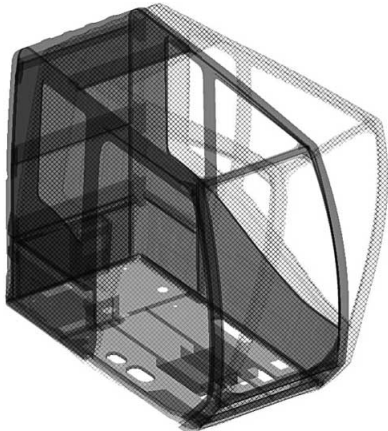


図6 キャブ全体系の変形モード  
Fig. 6 Mode shape of cabin



図7 背板の変形モード  
Fig. 7 Mode shapes of rear panel

周波数応答解析を実施することにより疲労強度評価を行う。評価精度を高めるため、S-N曲線による応力の絶対値評価と併せて実績のある従来キャブとの応力比較も行う<sup>1)</sup>。

本解析結果に基づいて詳細部分の形状までを決定する。

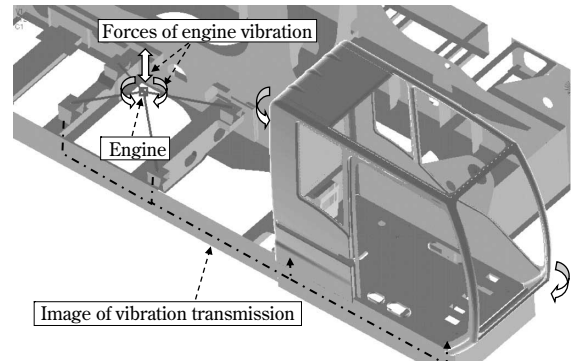


図8 周波数応答解析イメージ  
Fig. 8 Image of frequency response analysis

## 2.2 機械全体系での動剛性解析

エンジンの爆発や回転に起因する振動をはじめ、ポンプや油圧機器によって生ずる脈動など、さまざまな機器を加振源とした広範囲な周波数域の振動がキャブに伝達される。これらの振動がオペレータシートやフロアプレートを通じてオペレータに伝わり、クレーン操作レバーやモニター、パネル類が振動することによってオペレータに不快感を与える。そうした不快感を和らげる目的から、キャブは防振用のマウントを介してクレーン本体に取付けられている。

キャブに伝達する振動を低減するためには、そのマウントの防振性能を十分に発揮させる必要がある。キャブ全体系剛性の目標値はそれを考慮して設定している。しかし、防振性能を発揮させるためには、キャブ本体の剛性だけでなく、それを支えるクレーン本体のフレーム剛性も重要な要素となってくる。

これまで、クレーン本体側の剛性に関しては静剛性評価を行っていたが、軽量化などの要求からより精度の高い評価が必要となってきており、動剛性評価にも取り組んでいる<sup>2)</sup>。

動剛性評価においては、エンジンなどの加振源位置に加振外力を与えた時(図8)のキャブの応答加速度を求める周波数応答解析を実施しており、解析モデルはキャブやマウントを含めたクレーン全体系を対象とする。

この解析評価の場合、

- ・機械上に存在する構成要素のモデル化範囲
- ・がたやマウントの非線形特性の取扱い
- ・振動に対するオペレータ官能評価の定量化

など、解析精度や評価手法に関する課題も非常に多い。現在、それらの課題解消に向けた検討を進めている。

## 3. 試験評価

### 3.1 試作キャブを用いた剛性・強度評価

クレーン本体試作機を組立てる前に、まず試作キャブを製作し、ベンチ試験にて動剛性や疲労強度の達成度を評価する。動剛性に関しては、図9に示すようなインパクトハンマ打撃によるモーダル計測を行い、試作キャブの固有振動数と固有モードを把握することによって目標動剛性の達成度を確認する。

図10は試作キャブ打撃試験による応答結果の一例であり、そのときのピーク周波数における振動モードでの変形図を図11に示す。この結果は、詳細モデルでの解析





図9 キャブ打撃試験  
Fig. 9 Impact hammer testing of cabin



図12 加振試験  
Fig.12 Shaker testing of cabin

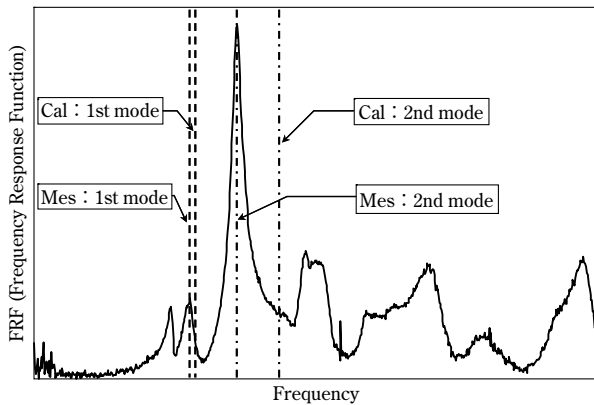


図10 打撃試験結果  
Fig.10 Result of impact hammer testing

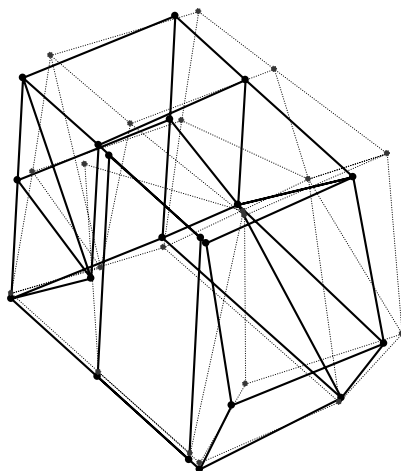


図11 キャブの変形モード  
Fig.11 Mode shapes of cabin

結果(図6)と周波数、変形モードともよく一致することが確認されている。また、背板などのパネル剛性も事前解析と整合する結果が得られた。

つぎに、加振機を用いたベンチ加振試験(図12)によって試作キャブの強度評価を行う。このとき、試験時間を短縮する目的から、実機振動計測データに基づき生涯被害量が等価となるように加振条件(時間・加振力)を設定した加速試験を行っている。クラック発生の確認はカラーチェックにて行うが、さらに事前FEM解析によって判明している強度的に懸念される箇所には、ひずみゲージによる応力測定を行い、FEM解析結果との整合性

も検証している。

今回の開発では、事前FEM解析を充実させた効果により、試作機による加振耐久評価を手戻りなく、1回でクリアさせることができた。

### 3.2 実機性能確認試験評価

実機性能確認試験では、主にモーダル計測による動剛性(固有振動数と振動モード)確認、および実稼動時のキャブ振動計測とオペレータ官能による乗心地評価を行う。強度面の評価は原則、ベンチ試験で完了する。一部機種ではラフロード耐久試験によるキャブ強度評価も実施しているが、徐々にベンチ試験での評価に置換えつつある。

今回の開発では、強度・剛性評価のフロントローディング化を図ったこともあり、実機性能確認試験時において、キャブの強度・乗心地不具合は発生しなかった。また、パネル動剛性の事前評価によってキャブ内騒音も開発目標を手戻りなく達成し、開発期間の短縮化に貢献できた。

むすび=新型キャブの開発において、シミュレーション解析技術の向上により、設計段階での精度の高い動剛性・疲労強度評価が可能となった。これにより、試作以降での手戻りが削減され、トータルとしての開発期間の短縮が図られた。

フロントローディングを充実させることにより解析評価期間は長くなったものの、それも3D設計とのリンクを図ることによって短縮化が図られてきている。

世の中では、全体挙動から搭載物の寿命まで数値解析によって評価するバーチャル試作構築が普及してきており、試作機による評価をなくした「試作レス」を実現する方向に向いている。コベルコクレーン(株)としても、さらなる解析精度の向上や対象範囲の拡大を図ることにより事前解析評価技術を高めていき、少しでも「試作レス」に近づけていきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 川端将司ほか、R&D 神戸製鋼技報、2007、Vol.57、No.1、p.58-61.
- 2) 今西悦二郎ほか、R&D 神戸製鋼技報、2001、Vol.51、No.3、p.50-57.

(解説)

# クローラクレーンの騒音低減とヒートバランスのシミュレーション技術

## Technology for Improving Noise and Heat Balance of Crawler Cranes



木下伸一\*1  
Shinichi KINOSHITA



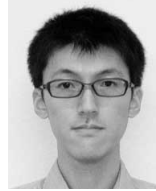
増田京子\*1  
Kyoko MASUDA



木村康正\*1  
Yasumasa KIMURA



朽木聖綱\*2  
Kiyotsuna KUCHIKI



細井英彰\*2  
Hideaki HOSOI



満田正彦\*3(工博)  
Dr. Masahiko MITSUDA

Noise reduction technology for crawler cranes has been developed to meet the noise regulations in Japan and Europe. Although heat balance is one of the important factors in crane design, it has an adverse effect on noise reduction. Thus new systems have been designed for both cooling and noise reduction, using a theoretical model and simulations to optimize these factors. As a result, the noise regulations have been satisfied; furthermore, the noise in the cabin has been significantly reduced, improving the work environment for operators.

まえがき＝近年、工事現場の近隣住民やオペレータ環境への配慮から、移動式クレーンなどの建設機械において静粛性への要求が高まっており、その防音設計も重要な要素となっている。建設機械の周囲に対する一般的な防音対策は、エンジンラジエータなどのヒートバランスと相反する設計要件である。騒音とヒートバランスを両立させた設計の重要性が増す中、設計段階で防音対策効果とヒートバランスの予測を行うこと欠かせなくなってきた。また、長時間作業するオペレータの作業環境を向上する点においてもキャブ内の騒音を低減することは重要である。音質も疲労感に影響することから、事前に騒音特性を予測し、設計に反映していくことが望ましい。

本稿では、汎用クラスのクローラクレーン開発におけるエンジンガードの防音対策とヒートバランス設計、およびキャブ内騒音低減について述べる。

### 1. 周囲騒音およびヒートバランス

#### 1.1 低騒音規格

建設機械の周囲騒音に対する国内の規格には「低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程<sup>1)</sup>」があり、これに基づく測定評価方法が定められている。この規程は、対象の機械を取囲む半球面上に定められた6点での騒音を計測し、それらの値から算出した音響パワーレベルが基準値以下となった機械が低騒音型として指定されるものである。また、欧州を中心とした地域においてもCEN（欧州標準化委員会）規格があり、計測条件や評価基準などには国内規格と多少の差異はあるものの、同様に音響パワーレベルの基準値が規定されている。

#### 1.2 周囲騒音予測

国内および欧州地域では低騒音認定を取得することが

必須となっており、設計段階で騒音性能を予測することが非常に重要である。その手法としては、有限要素法（Finite Element Method, 以下FEMという）や境界要素法（Boundary Element Method, 以下BEMという）などの波動方程式に基づく厳密な数値解析方法もあるが、対象周波数や構造物の大きさを考慮した場合、解析自由度や解析ステップが多くなって計算コストがかかるのが一般的である。この課題に対して本論では、簡便な方法としてエンジンなどの音源を取囲むガード内外の音響エネルギーバランスを考慮した式(1)に基づく予測を試みた（図1）。

$$PWL' = PWL + 10 \log_{10} \frac{F}{\bar{\alpha} S + F} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- PWL'：ガード開口部から放射される音響パワーレベル
- PWL：エンジンなど音源の音響パワーレベル
- $\bar{\alpha}$ ：開口部を除くガード内の平均吸音率
- S：開口部を除くガード内の表面積
- F：開口部の面積

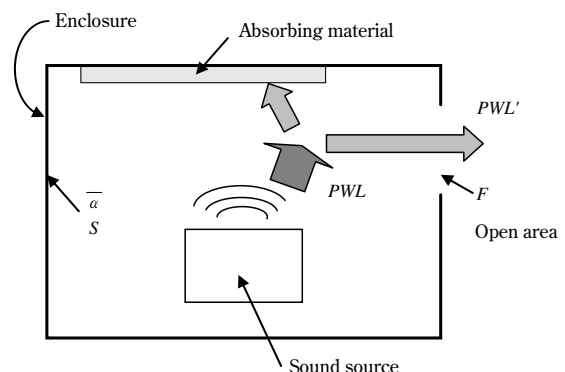


図1 周囲騒音簡易予測モデル  
Fig. 1 Acoustical model of predicted environmental noise

\*1 技術開発本部 機械研究所 \*2 コベルククレーン(株) 開発本部 要素開発部 \*3 (株)コベルコ科研 エンジニアリングメカニクス事業部 CAE・実験解析技術部

このモデルによる予測精度の検証を400tクラスのクローラクレーンの実機により行った。エンジンなどの音源の音響パワーレベルには実機のガードを取外した状態で実測した音響パワーを適用し、ガード内の平均吸音率および各面積を勘案して式(1)より放射される音響パワーレベル、つまり周囲騒音を算出した。解析結果と実測した周囲騒音の音響パワーレベルの比較を図2に示す。全体的な周波数特性もよく一致しており、音響パワーレベルのオーバーオール値でも1dB以内の差であり、実用的な予測精度が得られている。ただし、315Hzバンドにおいて差異が大きいのは、卓越した純音が音源として存在し、本周波数での波長では波動性の影響が現れているためと考えられる。音響エネルギーのバランスによる予測では限界があることを示唆している。

新機種の開発構想が定まった段階でガードの大きさはほぼ決まり、式(1)による周囲騒音に対する防音設計は、後述するヒートバランスと関連する開口面積や、吸音材の吸音性能特性を考慮した施工仕様を決定することとなる。厚さ25mmの吸音材の吸音性能を残響室法(JIS A 1409)により計測した結果の一例を図3に示す。同じ厚さの吸音材でも吸音特性が異なるため、音源の周波数特性に合わせて適切な吸音材を選択し、目標騒音レベルに応じて必要な吸音材貼付け面積を見いだすことが可能となる。

汎用クラスのクローラクレーンの新機種開発においては、以上のような騒音性能予測技術を適用することにより、国内低騒音基準107dBAに対して同クラスの最大機

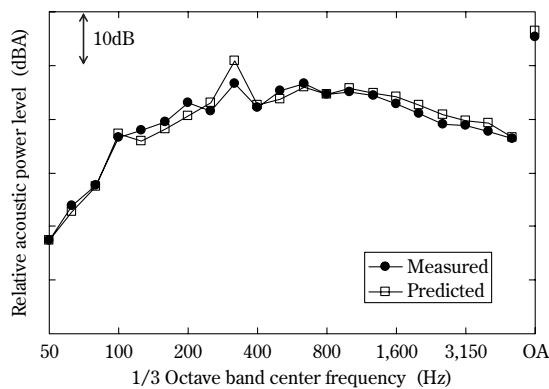


図2 周囲騒音予測結果の一例

Fig. 2 Example of predicted environmental noise

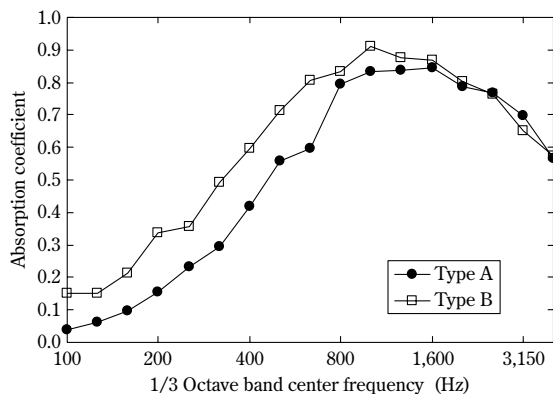


図3 ガード内に適用する吸音材の吸音率

Fig. 3 Absorption coefficient of absorbing material attached to inside of engine guard

種で106dBA、最小機種では103dBAとなり、開発の手戻りなく低騒音認定を実現できた。

### 1.3 ヒートバランス

駆動源を正常に作動させるには、エンジン冷却水、作動油および燃焼用空気を放熱器に循環させ、強制空冷による熱交換を行ってヒートバランスを成立させる必要がある。そのためには、エンジンや作動油の発熱量やラジエータの性能を基にして算出される冷却風量を確保しなければならない。建設機械では、プロペラファンを用いた強制空冷を行うことが多く、ファンP-Q特性と空気流路全体における抵抗によって得られる風量が決まる(図4)。風量の2乗に比例する流路抵抗は、その抵抗係数が分かれば求めることができる。しかしながら、建設機械のような複雑な構造の抵抗係数を精度良く簡便に算出するのは困難である。

そこで、流れの現象を数値的に解析する手法の一つであるCFD(Computational Fluid Dynamics)解析の適用を試みた。汎用クラスのクローラクレーンの新機種を対象とする解析モデルを作成し(図5)、市販のCFD解析ソルバを用いて3次元定常流れ解析を実施した。乱流モデルは標準k- $\omega$ SSTモデルを適用し、ファンはマルチフレーム法によるモデル化を行った。また、ラジエータおよび吸排気開口に設けられた多孔板は通風抵抗でモデル化した。解析結果による風速分布の一例を図6および図7に示す。このように、流れを可視化することが可能で、流れの阻害要因になっている部分が明らかになることから、改善対策の検討に有益な情報が得られる。また、ラジエータ面の風速分布と面積を積算することにより、風量を算出することができる。CFD解析の結果から算出した風量と実機による測定結果の比較を図8に示す。実機による測定では、ラジエータ表面を8×7の領域に分割し、プロペラ風速計によって計測した各点での風速と面積との積算で風量を算出した。両者の結果は比較的よく一致しており、CFD解析は実用的な精度で予測可能であるといえる。新機種開発においても、CFD解析を実施することにより、実機のような複雑な構造においても冷却風量を精度良く求めることができ、設計の手戻りなくヒートバランスを達成させることができた。

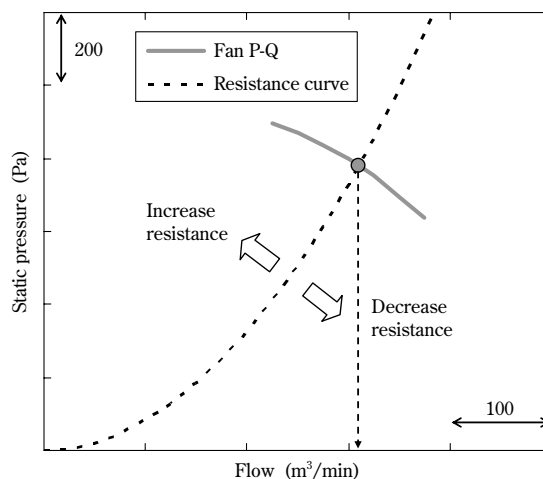


図4 ファンP-Q特性と抵抗曲線

Fig. 4 Fan P-Q characteristic and resistance curve



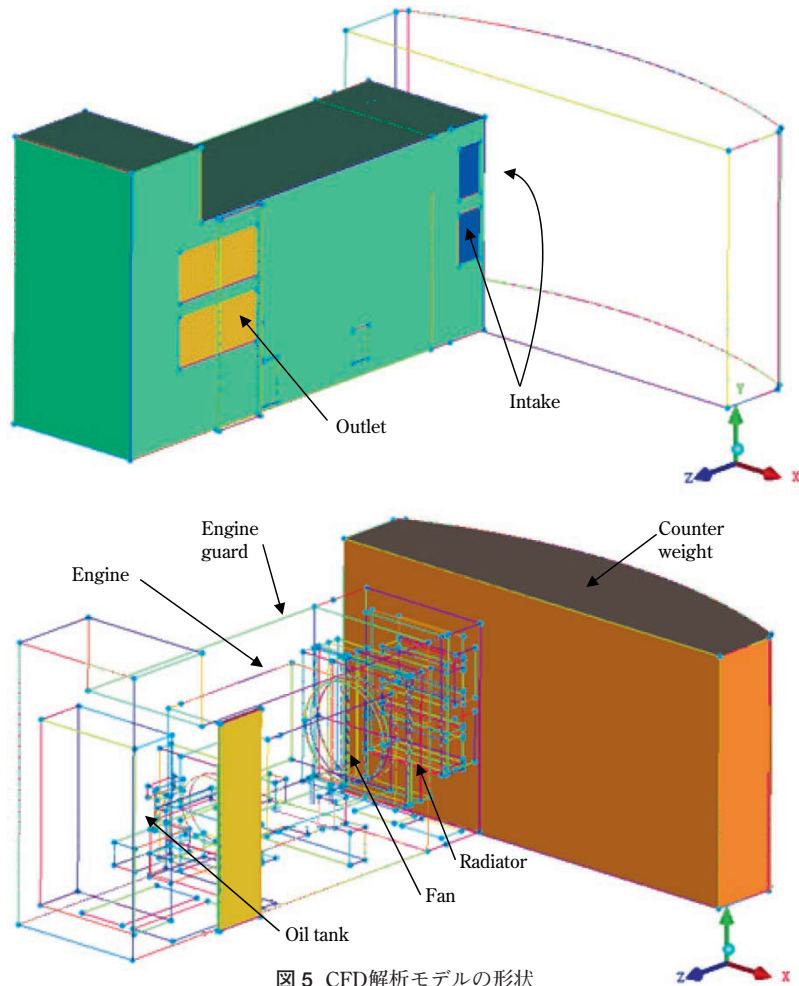


図 5 CFD解析モデルの形状  
Fig. 5 Schematic diagram of CFD model

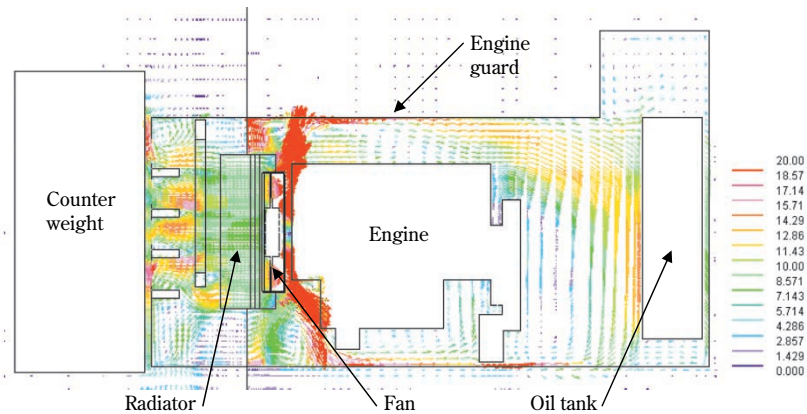


図 6 CFD解析結果による風速分布 (エンジンガード垂直断面)  
Fig. 6 Calculated result of velocity distribution (cross section of engine guard)

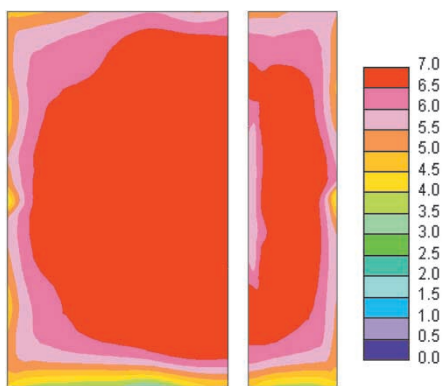


図 7 CFD解析結果による風速分布 (ラジエータ面)  
Fig. 7 Calculated result of velocity distribution (surface of radiator)

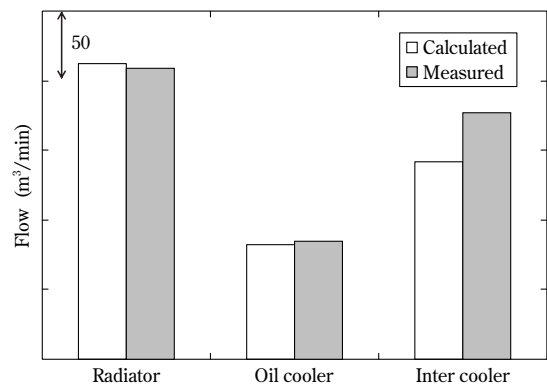


図 8 CFD解析と実機測定による風量比較  
Fig. 8 Comparison of calculated flow rate and measuring flow rate

## 2. キャブ内騒音

### 2.1 キャブ内騒音低減

エンジンなどの振動は、支持部を介してキャブに伝搬し、固体音を発生させる。しかしながら、キャブは一般的にマウントによって防振支持されているため、キャブ内騒音への固体音の寄与は小さい。したがって、キャブ内の騒音低減対策としては、遮音性を向上させることや吸音性能を高めることが有効である。

キャブの遮音性能を効率的に向上させるには、まず遮音特性が低い部位から改善することが重要である。スピーカ試験によってキャブ背面および床パネルの遮音特性を計測した結果を図9に示す。背面および床外側にそれぞれスピーカを設置してホワイトノイズを発生させたときのスピーカ近接部とキャブ内耳元付近との音圧レベル差を示した図である。一部の周波数バンドを除き、床パネルの遮音性能が大幅に低いことが定量的に明らかになった。床パネルの遮音性能が大幅に低いのは、操作レバー、油圧配管およびハーネスなどをキャブ内へ引込むための開口や、空調のための隙間開口が多く存在することが要因であると考えられる。そこで、それらの隙間開口を試験的に閉じてキャブ内騒音を計測したところ、キャブ内騒音低減効果が大きいことが判明した(図10)。ただし、隙間開口を完全に密閉することは現実的に困難であるうえに、隙間面積を直接計測することも容易ではない。そこで、キャブ隙間面積の簡便な評価方法とし

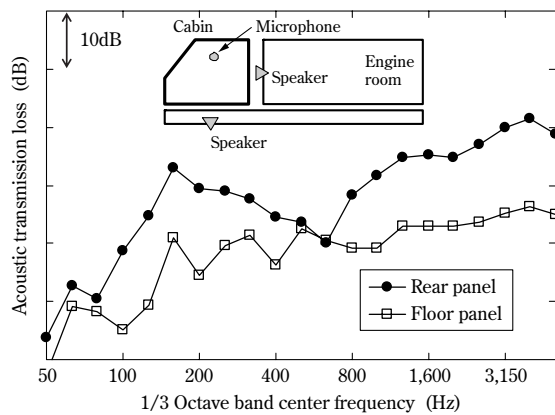


図9 キャブ背面と床パネルの遮音性能

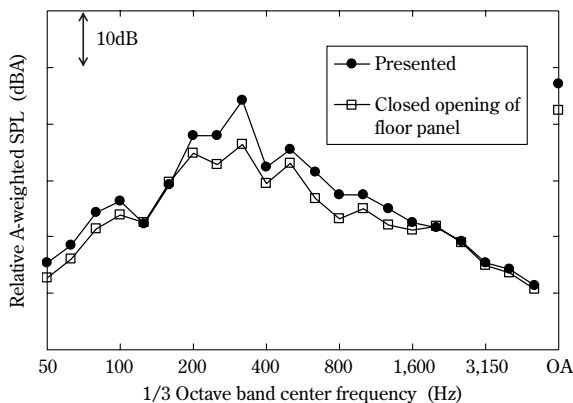


図10 キャブ床パネル開口密閉によるキャブ内騒音低減効果

て、住宅などで用いられている気密性能試験<sup>2)</sup>を適用した。図11に示すように、ファンを有するダクトをキャブに取り付け、ダクトを通過する風量とキャブ内外の圧力差を計測する。風量を変化させて圧力差を計測した結果が図12であり、気密性が高いほど急峻な曲線となる。実際に床パネルの隙間開口を閉じた場合、気密性が大幅に改善されていることが分かる。この曲線から係数 $a$ 、 $n$ を算出し、式(2)<sup>2)</sup>を適用することによって総相当隙間面積を求めることができる。隙間開口の形状などにより係数 $a$ が異なるため、実際の面積を精度良く把握することは困難であるが、キャブの隙間の状況を把握する簡便な評価方法としては有効であると考えられる。

$$aA = 2.78 \times \sqrt{\frac{\rho}{2}} \times a \times 9.8^{n - \frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$aA$  : 総相当隙間面積

$\rho$  : 空気密度

$a, n$  : 圧力差-風量曲線から求まる定数

次に、キャブ内の吸音性能を高めるためには吸音性の良い内装材を用いることが有効である。事前に内装材の吸音性能を評価することにより、試作を繰返すことなく適切な内装材を選定することができる。音響管を用いた垂直入射吸音率<sup>3)</sup>の計測結果の一例を図13に示す。内装材の選定には意匠性によるところが大きいですが、吸音特性という観点からの評価・選定も重要である。

このように、キャブの遮音性を向上させるとともに、吸音特性も改善することにより、図14に示すようにキ



図11 キャブの気密度計測

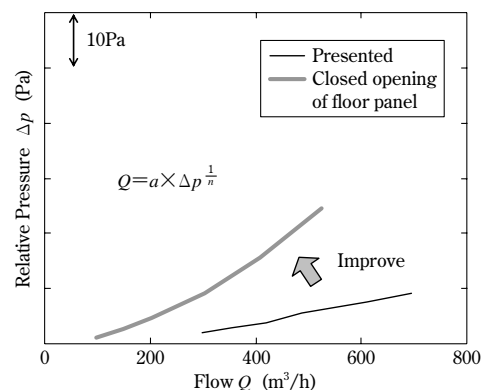


図12 キャブの気密度

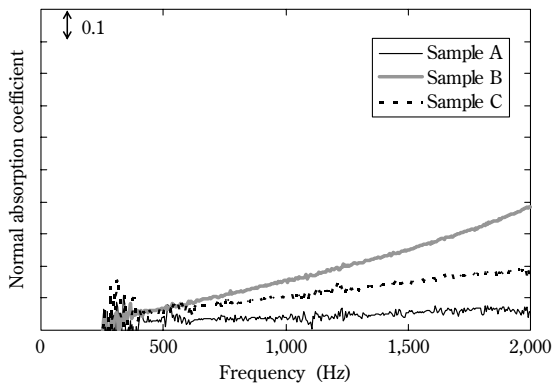


図13 内装材の垂直入射吸音率

Fig.13 Normal absorption coefficient of inner panel

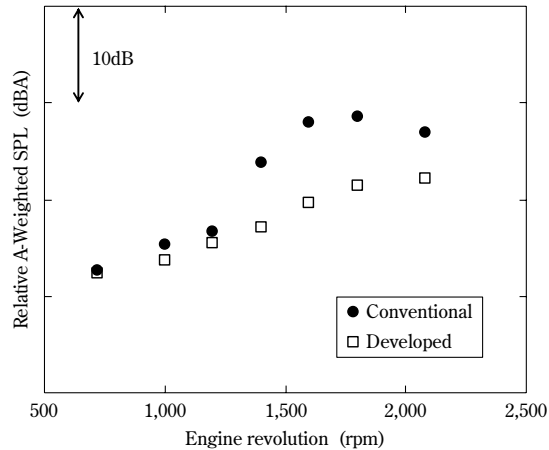


図14 現行機と開発機のキャブ内騒音比較

Fig.14 Comparison of cabin noise between presented and developed machinery

キャブ内耳元騒音を従来機比で最大7dB低減することができた。

## 2.2 こもり音対策

キャブ内の騒音レベルが低い場合でも、耳を圧迫するような低周波のこもり音が発生するとオペレータの環境を著しく悪化させることがある。エンジンなどの音源の周波数が、キャブ内音場の共鳴周波数あるいはキャブ背面パネルの共振周波数と一致したときにこもり音が発生することが多い。BEMなどによるキャブ内音場解析やFEMなどによるキャブ構造の固有値解析により、共鳴・共振周波数を事前に把握し、表1に示すような音源周波数を回避することが重要である。BEM解析で得られた1次モードの音圧分布を図15に示す。1次モードはキャブ前後方向のモードであり、85Hzで共鳴することが分

表1 各音源1次の周波数

Table 1 1st excitation frequency of sound source

Sound source	Engine revolution (Hz)	
	Low	High
Engine	40	104
Fan	112	291
Pump	131	341

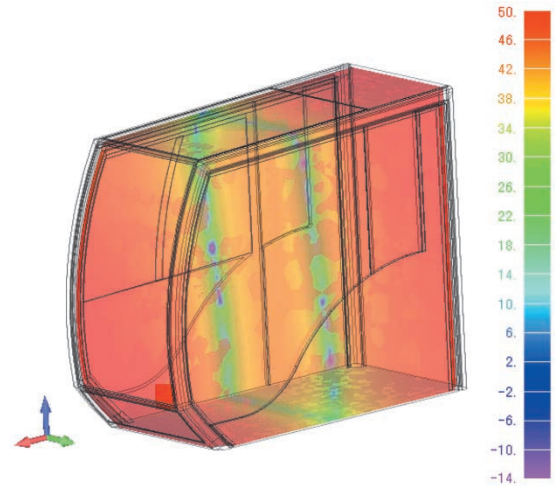


図15 キャブ内の音場BEM解析結果による音圧モード(1次モード:85Hz)

Fig.15 BEM analysis of acoustic field in cabin (1st mode: 85Hz)

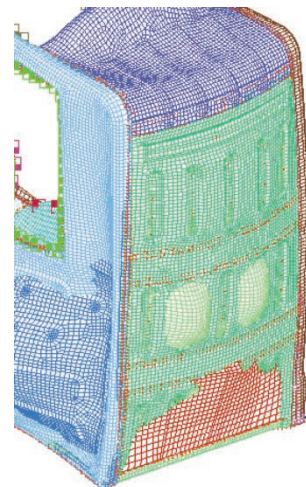


図16 キャブ構造の固有値解析(背面パネル1次モード:68Hz)

Fig.16 Natural frequency of cabin structure (rear panel 1st mode: 68Hz)

かる。また、キャブ構造の固有値解析から得られる結果を基に、背面パネルの絞り加工や補強リブの最適配置により、図16に示すように音源との共振が回避できる振動数に高めることができた。これらの検討を設計段階で実施することにより、キャブ内でのこもり音は問題とならなかった。

むすび=本稿では、クローラクレーンの騒音とヒートバランスを改善するための予測・評価技術について紹介した。建設機械の騒音を低減し、建設現場周辺やオペレータの作業環境改善に貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程。平成9年建設省告示1536号, 第2条第3項。
- 2) 財団法人建築環境・省エネルギー機構。住宅の気密性能試験方法。p.31。
- 3) 宇津野秀夫ほか。音響学会講演論文集。1988, p.713-714。



(技術資料)

# クローラクレーンのブーム生産ラインにおける自動溶接工程の改善

## Automated Production of Crawler Cranes Lattice Booms



山下俊治\*1



小林俊文\*1



藤原昭喜\*1



西川禎英\*2

Toshiharu YAMASHITA Toshifumi KOBAYASHI Akiyoshi FUJIWARA Yoshihide NISHIKAWA

This paper reports a 20% increase in the productivity of lattice booms of crawler cranes over that of 2007, achieved at KOBELCO CRANES CO., LTD., by improving the automated production processes, including the simultaneous welding of boom connectors, the use of new pipe materials, thus obviating the preheating of welding parts, pipe-edge cutting using a laser, the accurate control of torch positions in welding robots, and the addition of new welding robots. The developed technology was so efficient that it enabled build-to-order production without any labor shifts, as opposed to the make-to-stock production that has required two labor shifts in the past.

まえがき＝クローラクレーンのブームは、パイプをラチス配置にした構成としている。このブームは大きく分けて、上部、下部、および中間という3種類のブームで構成される(図1)。コベルコクレーン(株)では、中間ブームの生産を担当するラインと上部ブーム、下部ブームの生産を担当するラインの2つのラインでこれらのブームを生産している。

このうち、中間ブーム生産ラインは5つの工程で構成されており、工程1(ブームコネクタ溶接)と工程4(立体溶接)の2つの工程については自動溶接化されている(図2)。

本稿ではこの中間ブーム生産ラインにおける自動溶接工程の改善取組について紹介する。

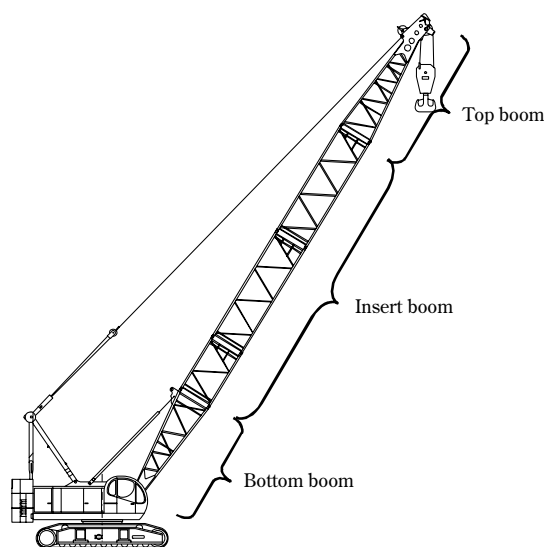


図1 クローラクレーンのブーム構成  
Fig. 1 Composition of boom for crawler crane

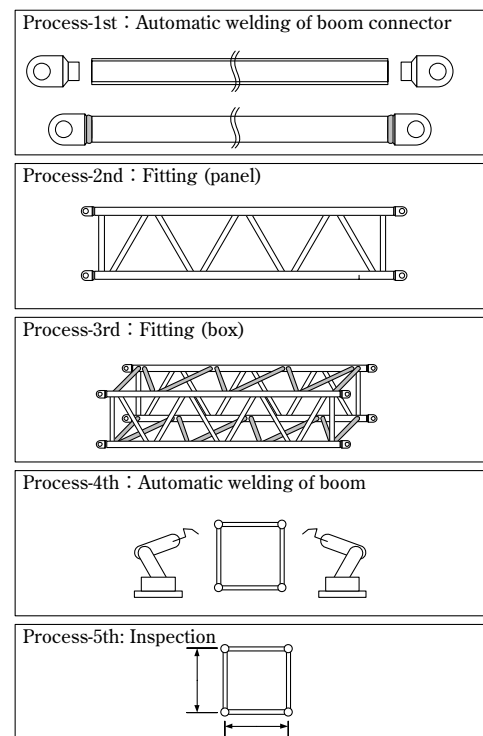


図2 中間ブーム生産ラインの概要  
Fig. 2 Outline of insert boom production line

### 1. 中間ブームの生産における問題点

クローラクレーンは中間ブームの長さや組み合わせを変えることにより、作業現場に合わせたブーム長さで作業することができる(図3)。そのため、受注した案件ごとにブームの構成は変わり、ブームの生産量はクレーン本体の生産台数に比例せず、月、週単位で大きく変動する。この変動に対して、作業人員の増減で対応していたもの

\*1コベルコクレーン(株) ものづくり統轄本部 ものづくり統轄部 \*2Quality Dept., Kobelco Cranes India Pvt., Ltd

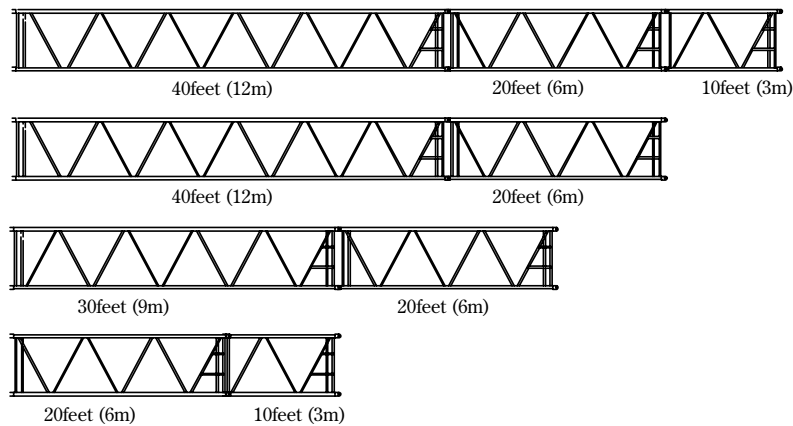


図3 中間ブームの構成例  
Fig. 3 Examples of insert-boom composition

の、自動溶接工程が制約となる場面が多い。これらの自動溶接工程は以下に述べる4つの問題点を抱えていた。

### 1.1 ブームコネクタ溶接工程のサイクルタイム

ブームコネクタ溶接工程は、パイプの両端にブーム同士をピン結合するための部品（コネクタ）を溶接する工程である。中間ブームは10ft, 20ft, 30ft, 40ftの異なる長さのメニューがあるが、10ftや20ftなどの短いブームにおいても本工程の溶接工数は変わらない。よって、これらのメニューが生産ラインに投入されると後工程に対して相対的にサイクルタイムが長いために供給遅れが発生する。自動溶接の工程であるため、作業者を増員してもサイクルタイムが比例して短縮できず、このネックを解消できない。これらの理由により後工程への供給遅れを回避するために多くの仕掛品を持って操業していた。

### 1.2 立体溶接工程での予熱作業

中間ブーム生産ラインでは、50~250t吊りのクレーン用のブームを生産しており、これらのブームに使用されるパイプはTs780MPa級の高張力鋼を使用している。200~250t吊りのクレーンのブームにおいては、パイプの肉厚が厚くなることから、溶接前には予熱を必要としていた。

予熱が必要なワークについては、立体溶接工程でロボット溶接を適用できず、本工程をジャンプし後工程で作業による溶接で対応していた。

### 1.3 立体溶接工程でのロボット溶接の品質安定性

ロボット溶接を適用していたものの、時折発生する溶接不良により後工程での手直し作業をするロスがあり、生産計画に対する遅延が起きやすくなっていた。また、これらの不良の発生原因についても、設備との因果関係が明確になっていなかった。

### 1.4 立体溶接工程のサイクルタイム

立体溶接工程ではブーム長さが30ftや40ftと長くなると、溶接量が増加するため、それに比例してサイクルタイムが長くなり、ライン全体の流れを停滞させる原因となっていた。

## 2. 改善内容

1章で述べたように、自動溶接工程が抱えている問題によってライン全体としての流れが悪く、生産性向上の

阻害要因となっていたことから、自動溶接工程の改善に取り組んだ。以下の節でそれらの概要を紹介する。

### 2.1 ブームコネクタ溶接のサイクルタイム短縮

パイプの両端にコネクタを溶接する工程では、1台の自動溶接トーチを用いていたことから、片方のコネクタを溶接後、他端に移動させて溶接する方法を採っていた（図4）。自動溶接でありながらも作業（兼オペレータ）による監視と溶接条件の微調整が必要であり、自動溶接中でも作業者が離れられない状況となっていた。

また、作業時間を分析すると、自動溶接機の稼働率は40%と低く、かつ作業者の稼働率も70%となっており、人と機械の作業分担が明確に分離できていない状態であった。

これらのことから、両端のコネクタを同時に溶接することを検討した（図5）。ただし、同時溶接にあたって、オペレータによる常時監視を不要とすることが必要となる。この監視業務を調査すると、継手の開先ギャップ幅のばらつきによって都度溶接条件を微調整していることがわかり、さらにその要因がパイプの長さのばらつきによるものであることがわかった。

部品メーカーと協力し、パイプ長さのばらつきを抑える方法に取り組んだ結果、NC装置による切断方法へ変更することによって精度改善を図ることができ、目標値である開先ギャップ幅 $\pm 0.5\text{mm}$ を達成することができた。

これらの改善により、溶接条件の調整を不要としたう

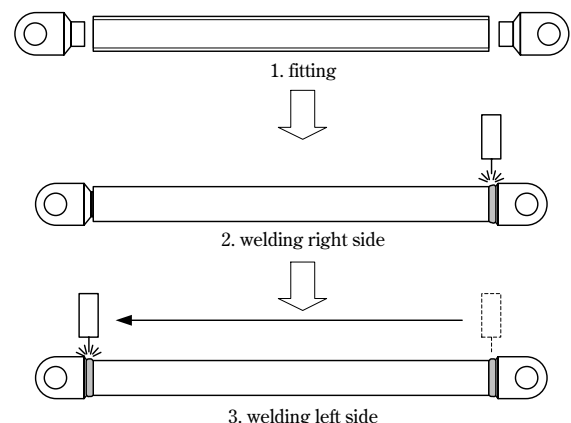


図4 ブームコネクタ溶接の作業順序  
Fig. 4 Procedure for welding boom connector

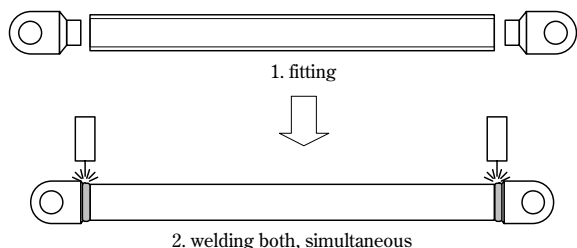


図5 ブームコネクタ溶接の作業順序 (改善後)

Fig. 5 Procedure for welding boom connector (after improvement)

えで両端のコネクタを同時に溶接することを可能とし、同時に従来よりもギャップ幅を狭くすることによって溶接量の低減ができた。この結果、サイクルタイムを46%低減させ、目標を達成することができた。

また、オペレータにとっても両端の溶接部へ往復移動する回数が減少したことによって歩行距離が短縮され、作業者の疲労度も軽減される結果となった。

改善成果：

- ・サイクルタイム短縮：△46%
- ・生産性向上：+96% (工程のみ)
- ・工程間仕掛り：半減
- ・作業者の動線短縮：△30% (歩行距離)

## 2.2 立体溶接工程での予熱廃止化

立体溶接工程のロボット溶接システムは、個々の溶接部位に対応した予熱装置を搭載することが困難であったことから、パイプメーカーと共同で予熱廃止を前提としたパイプの開発を行った。ブームに使用されているパイプは、造管後の熱処理 (QT) によって必要な強度を確保することから、焼入れ性向上のために炭素当量が高くなっている。パイプの肉厚が厚くなると低温割れが出やすくなることから、溶接前の予熱を必要としていた。

鋼の成分および熱処理方法をパイプメーカーと共同で見直し、TMCP処理による炭素当量の低い成分設計としたパイプを開発した。実施工を想定した溶接性の確認試験においても予熱が不要となることが確認できた (図6)。パイプメーカーにとっても、これらのパイプの開発によって造管後の熱処理工程を省略することができ、リードタイム短縮につながった。

改善成果：

- ・鋼管製造リードタイム：1か月短縮
- ・ロボット溶接適用機種：65%→100% (全機種)

## 2.3 立体溶接工程のロボット溶接の品質安定化

ロボット溶接での不良原因を調査した結果、2つの原因が発見された。一つはワーク組立時の精度が不安定であったことと、もう一つはロボットの狙い位置がばらばらであったことである。

### 2.3.1 ワークの組立精度の向上

ロボット溶接の不良原因となる組立精度不良には図7に示したようなパターンがある。いずれも、ラチスパイプの端面切断の精度不良が原因となって溶接部に隙間が発生することが主要因となる。ラチスパイプの切断にはプラズマ切断を使用しており、ラチスパイプの肉厚が薄い上にプラズマ切断による入熱が大きいことから、NC装置による切断においても熱変形による精度不良 (ばら

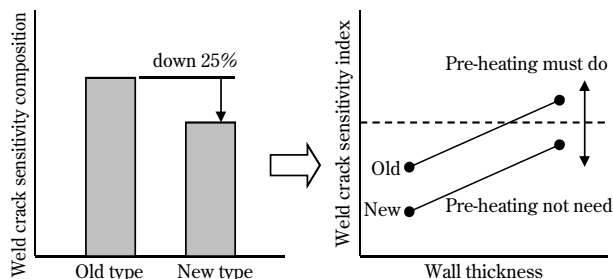


図6 予熱廃止化

Fig. 6 Pre-heating abolition

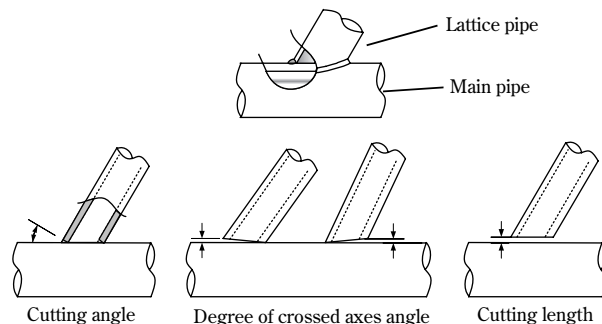


図7 組立不良の種類

Fig. 7 Kind of inaccurate fitting

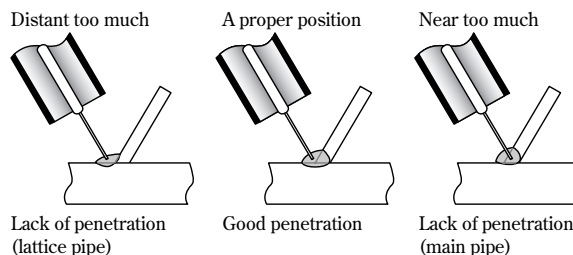


図8 溶接トーチの狙い位置と溶接ビード

Fig. 8 Aim position of welding torch and welding bead

つき)が生ずる。この熱変形が溶接部に隙間を発生させる原因となっていた。人による溶接作業においては、これらの精度不良に対して適宜溶接条件を変えながら対応することができる。しかしながら、ロボット溶接においては、一律の固定された溶接条件となることから、精度不良に対する許容量が小さい。そこで、切断方法を入熱の低いレーザー切断に変更することによって入熱低減を図り、切断精度を向上させた。これにより、組立時に発生する隙間を低減させることができた。

### 2.3.2 ロボット狙い位置の精度向上

溶接ロボットは、溶接トーチ近傍に2Dレーザーセンサを搭載し、継手位置をリアルタイムでトラッキングするシステムとなっている<sup>1)</sup>。溶接継手に対するトーチの狙い位置は±0.5mm以内にする必要がある (図8)。溶接不良に対する要因分析を行ったところ、センサの温度特性、取付位置の経時変化、センサ機差、検出データの補正方法、およびロボットの絶対座標との誤差によってそれぞれの誤差が積重なっていき、狙い位置精度を悪化させていた。

これらの要因はシステム開発当初の実験段階では確認できておらず、個々の誤差因子に対して対策を講じた。生産現場側では、日常点検方法の見直しと点検結果の経時変化を定量的に把握 (計測) することによって補正作



業の要否判断の標準化を図った。システム側においては、機差補正や検出補正のロジックの見直しを行った。これらの総合的な活動によって各因子の累積誤差を低減し、狙い位置精度±0.5mm以下を達成した。

改善成果：

- ・溶接不良による手直しの作業ロス：90%削減
- ・定期的なプログラムの微修正業務：ゼロ化

## 2.4 立体溶接工程のサイクルタイム短縮

予熱廃止によって全ての機種でロボット溶接が適用されることにより、立体溶接工程がライン全体の生産に対する停滞原因となってくるのが問題としてクローズアップされてきた。とくに30～40ftの長いブームでこの問題が顕著になってきた。前後工程とのバランス適正化のためには、サイクルタイムを半減化することが必要であった。

ロボット溶接システムは1つのブームに対して2台のロボットを配置したシステムとなっている。これらのロボットの運転中の時間分析を行うと、

- ・アーク発生：35%
- ・ロボット同士の動作完了待ち：15%
- ・溶接継手間の移動、エアカット：35%
- ・溶接姿勢変更（ワーク反転）：15%

となっていた。現状の溶接システムのままで非溶接時間を改善/短縮したとしても、サイクルタイムとしての短縮率は10～20%にとどまり、目標（半減化）を達成することはできない。このため、ロボットの増設を図ることとした。ただし、ライン内に拡張スペースはなく、溶接システム全体を追加増設することは不可能であることから、既存システムにロボットのみを増設することとした。しかしながら、1システムでロボットを2→4台へ増設するためには、ロボット間の作業待ちが増加することが懸念された。このため、ロボットの動作パターンや負荷配分などを事前検証したうえで増設した。同時にエアカット時間についても、無駄なエアカット経路の修正や速度アップを図った。

改善成果：

- ・ロボット溶接のサイクルタイム：半減化
- ・前後工程との同期化

## 3. 改善後の全体成果

2章で述べた改善により、自動溶接工程のサイクルタイム短縮と品質安定化が実現し、ブーム生産ラインにおける各工程のサイクルタイム平準化が図られた（図9、10）。

その結果、作業者の時間あたりの生産性も向上し、2011年度の実績は2007年度比で約20%の向上が図られた。また、2007年度は2シフトの生産体制としていたが、自動溶接工程のボトルネックが解消され、作業者の増員による1シフトでの最大生産量が増加したことにより、2011年度はほぼ同等の生産量を1シフト体制で対応できた（図11）。

また、生産管理の面においても、需要変動に対する生産能力の不安から採っていた「見込み生産方式」から、

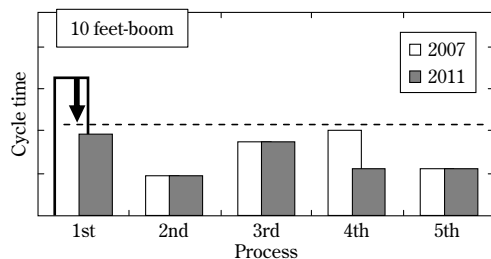


図9 サイクルタイムの平準化（10ftブーム）  
Fig. 9 Leveling of cycle time (10ft boom)

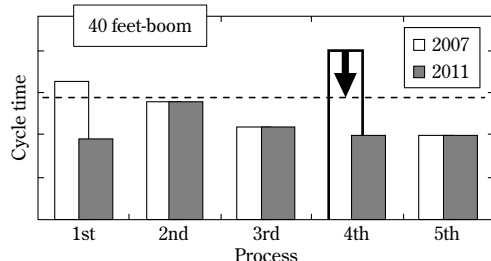


図10 サイクルタイムの平準化（40ftブーム）  
Fig.10 Leveling of cycle time (40ft boom)

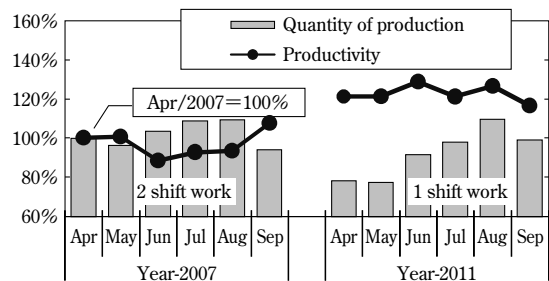


図11 生産性の推移（2007年4月を100%とした場合）  
Fig.11 Transition of manufacturing productivity (Value in April/2007 was set to 100%)

受注仕様と納期に基づいた「受注生産方式」へ変革することができた。

改善成果：

- ・生産性向上：+20%（2007年比）
- ・1シフト操業化（夜勤操業の廃止）
- ・見込み生産による完成品の在庫削減（在庫1/3に圧縮）

むすび＝中間ブーム生産ラインは自動溶接化されている工程が多く、一見すると生産性が高いように見える。しかしながら、生産量や生産メニューの増減といった変化に対しては制約が多く、柔軟性を欠いていた。

今回の改善活動では、材料、切断、ロボット、センサなどの溶接を取巻く周辺技術に対するニーズを明確にして活動したこと、およびそれぞれの技術者との共同で活動し問題を解決してきたことによって生産性の向上に寄与することができた。2011年度においては東日本大震災の影響もあり、生産量の急激な変化があったものの、生産性を落とさずに柔軟に対応することができた。

これらの成果は、上下部ブーム生産ラインの生産性の向上を図るための横展開活動にもつながっている。

## 参考文献

- 1) 飛田正俊ほか. 神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.86-89.

**R&D 神戸製鋼技報掲載 建設機械関連文献一覧表 (Vol.51, No.1~Vol.61, No.2)**

**Papers on Advanced Technologies for Excavators & Cranes in R&D Kobe Steel Engineering Reports (Vol.51, No.1 ~ Vol.61, No.2)**

	卷/号
●油圧ショベルの快音へのアプローチ .....田中俊光ほか An Approach to Improving the Quietness of Hydraulic Excavators Dr. Toshimitsu Tanaka et al.	57/1
●油圧ショベルの動力解析と省エネ技術 .....南條孝夫ほか Power Simulation of Hydraulic Excavators and Related Energy-saving Technologies Takao Nanjo et al.	57/1
●油圧ショベルの動力系開発プロセスの構築 .....大谷和弘ほか Developing Power Systems for Hydraulic Excavators Kazuhiro Ootani et al.	57/1
●油圧ショベルの動的強度解析技術 .....川端将司ほか Dynamic Strength Analysis for Hydraulic Excavators Masashi Kawabata et al.	57/1
●建設機械の操作性と省エネの同時最適化秘術 .....菅野直紀ほか Optimization Techniques for Energy Efficiency and Operationability on Construction Machinery Dr. Naoki Sugano et al.	57/1
●ハイブリッドショベルの開発 .....鹿児島昌之ほか Development of New Kind of Hybrid Excavator Masayuki Kagoshima et al.	57/1
●KOBELCO 超大型解体機 SK3500D .....庭田孝一郎 KOBELCO Large-size SK3500D Demolition Machines Koichiro Niwata	57/1
●大型クレーンの構造物軽量化 .....中山浩樹 ほか Weight Reduction of Large-sized Latticed Boom Crawler Cranes Hiroki Nakayama et al.	57/1
●クレーン用ラチスブーム自動溶接システムの開発 .....飛田正俊 ほか Development of Automatic Welding System for Crawler Crane Latticed Booms Masatoshi Hida et al.	57/1
●シミュレーション技術の製品開発への応用 .....中川知和 Application of Simulation Technology for Product Development Dr. Tomokazu Nakagawa	55/2
●構造解析の最前線 .....中川知和 The Leading Edge of Structural Analysis Dr. Tomokazu Nakagawa	51/3
●ダイナミクスを征するシミュレーション技術 .....今西悦二郎ほか Simulation Techniques to Overcome Dynamic Problems Dr. Etsujiro Imanishi et al.	51/3
●音響数値シミュレーションを用いた静音化の世界 .....田中俊光ほか Numerical Simulations for Acoustic Design of Noise Reduction Dr. Toshimitsu Tanaka et al.	51/3
●数値流体力学 (CFD) が設計者に開く新しい世界 .....満田正彦ほか Computational Fluid Dynamics Open a New World for Designers Dr. Masahiko Mitsuda et al.	51/3

## 高機能抗菌めっき（KENIFINE®）とその新しい利用技術

中山武典（工博）・田中敦子

技術開発本部 材料研究所

近年、病原性大腸菌による食中毒や新型ウイルス感染などが社会問題となっている。住宅や水使用機器などでは、かびやぬめりの問題が顕在化しており、養殖分野などでも衛生管理が課題である。こうした背景から抗菌材料のニーズが高まっているが、これまでの材料では細菌やかびなどの抑制効果が不十分であった。

当社では、従来の抗菌材料に比べて10倍以上のスピードで細菌を減少させ、防かび性や抗ウイルス性などにも優れる高機能ニッケル系合金めっき技術「KENIFINE」を開発し、めっき処理メーカを対象に本技術のライセンス移転を進めている。しかしながら、めっき処理だけではその適用に限界があり、ライセンサーらとも連携してその利用技術の開発に取り組んできた。その結果、耐食性や意匠性を兼備する新しいめっき処理やアルマイト処理、箔、粉末あるいはそれらの応用製品の利用が可能になり、適用用途を大きく広げているので以下に紹介する。

### 概要

これまでに開発した抗菌めっき「KENIFINE」の利用技術と適用例を表1にまとめる。

- めっき処理：抗菌性ニッケル系合金めっきのままの標準仕様（①）に加えて、耐変色性を強化したクロム仕様（②）、美しい銀色を兼備した特殊シルバー仕様（③）、豪華な金色を兼備した特殊ゴールド仕様（④）

（③）豪華な金色を兼備した特殊ゴールド仕様（④）の4タイプが利用可能である。①は養殖設備や台所用用品、グルーミンググッズ、②は建築部材、③と④はノベルティ製品など、いずれも様々な用途に適用されている。

- アルマイト処理：アルミ材向け抗菌処理である。アルマイト由来の耐食性や耐摩耗性、意匠性を兼備し、建築用ドアハンドルなどに適用されている。
- めっき箔：抗菌めっき皮膜を特殊剥離させて製造した電解箔である。包帯留め用テープや粉碎箔をパック詰めした防藻用ボールなどに使用されている。
- 粉末：抗菌めっき技術を応用して開発した抗菌粉末である。粉末そのまま（①）だけでなく、塗料・スプレー（②）、マスターバッチ（③）、糸（④）、繊維（⑤）としての利用が可能であり、様々な分野への適用あるいは適用に向けての取組がなされている。塗料・スプレーは水系タイプも実用され、一般建築物の外壁や室内壁、扉、さらには飲料工場の衛生管理などに適用されている。

KENIFINE は、その優れた抗菌性や防かび性が実用途で長期持続することが認められている。今後も、幅広いユーザーニーズに応えるよう、利用技術を開発していく。

表1 抗菌めっき「KENIFINE」の利用技術と適用例

利用技術		適用例	
1. めっき処理	①めっき標準仕様	食品棚取手、養殖用金網、台所・浴室用品、グルーミンググッズ、空調製品、ゲーム用メダルなど	金網  台所三角コーナー  台所抗菌プレート  グルーミンググッズ
	②クロム仕様 (耐変色性を強化)	ドアハンドル、機械設備アクセサリ部品(ノブ、ネジ、ホルト、ハンドル)、排水口部品など	ドアハンドル  機械設備アクセサリ部品
	③特殊シルバー仕様 (美しい銀色を兼備)	ゴルフマーカー、スプーン、ナイフレスト、一輪挿しなど	ゴルフマーカー  ナイフレスト  一輪挿し
	④特殊ゴールド仕様 (豪華な金色を兼備)	ゴルフマーカー、ルーベ、スプーン、ナイフレスト、一輪挿し、リングホルダ、レターオープナーなど	ルーベ  リングホルダ  一輪挿し  スプーン
2. アルマイト処理 (自由自在に着色可能)	ドアハンドル、レバーハンドル、化粧品ケースなど	銀色、青銅色、黒色、ドアハンドル  黒色、銀色、レバーハンドル	
3. めっき箔	抗菌テープ、水槽やクーリングタワー用の抗菌ボール、培養器加湿水用の抗菌パックなど	箔そのまま  抗菌ボール  抗菌パック	
4. 粉末	①粉末そのまま	長靴  多目的抗菌テープ  スプレー  マスターバッチ  糸(ポピン巻)  布巾  靴下	
	②塗料・スプレー		
	③マスターバッチ		
	④糸(ポピン巻)		
	⑤繊維		



## 小型バイナリー発電システム「マイクロバイナリー」

成川 裕

機械事業部門 開発センター 商品開発部

地球温暖化対策や東日本大震災をきっかけに浮上してきた電力需給面における様々な問題から、再生可能エネルギーおよび未利用低位エネルギーを活用することによる省エネや発電のニーズが高まっている。

そうしたなか当社は、再生可能エネルギーや未利用低位エネルギーから電力としてエネルギー回収する発電機器として、高効率・小型バイナリー発電システム「マイクロバイナリー」(モデル：MB-70H)(表1、図1、図2)を開発し、2011年10月より販売を開始した。

表1 「マイクロバイナリー MB-70H」仕様

最大発電端出力 <sup>※1</sup>	72kW
最大送電端出力 <sup>※1</sup>	60kW
媒体ガス	HFC245fa
設計圧力	0.97MPaG
熱源温度	70～95℃
タービン種類	スクリュータービン
媒体ポンプ	キャンドポンプ
設置場所	屋内・屋外共用
防爆仕様	非防爆仕様
騒音値	75dBA
寸法	W2.25m × L2.6m × H2.3m
重量	6,500kg

※1：温水入口/出口水温 95℃/83℃、温水量 75t/h  
冷水入口/出口水温 20℃/34℃、冷水量 120t/hの条件

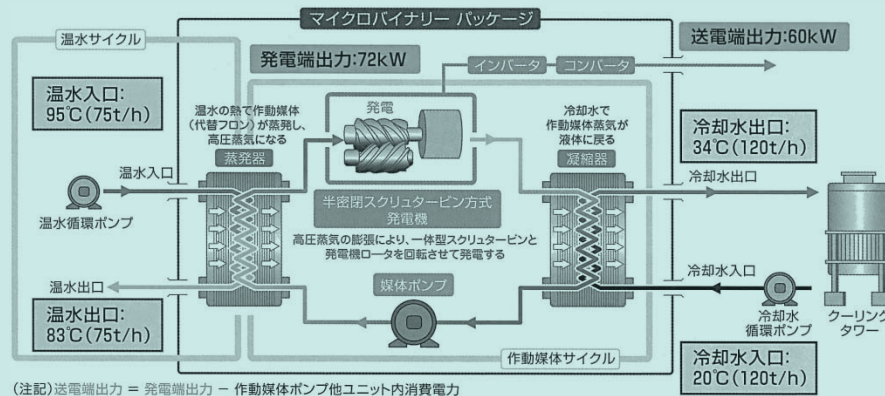


図1 バイナリー発電システム

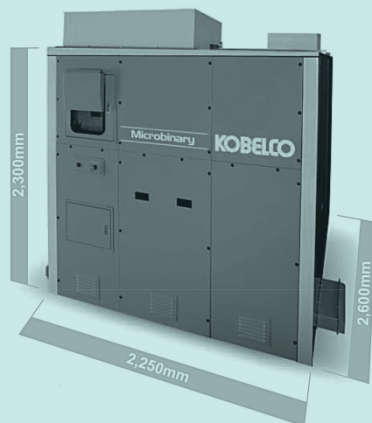


図2 「マイクロバイナリー MB-70H」 外観

### 「マイクロバイナリー」の特徴

- ①熱源変動に追従した高効率の発電性能
- ②世界初の半密閉スクリュータービン方式

スクリュータービンとIPM同期発電機ロータの1軸一体構造(図3)を採用し、世界初の軸シールレスバイナリー発電機を実用化、冷媒や潤滑油が漏れない構造を実現した。

- ③低価格

冷凍機やヒートポンプの量産技術を活用し、部品共用化を図ることによって低価格化を実現した。

- ④簡易型・小型バイナリー発電システム

70kWユニット複数数のモジュール対応が可能で、設置条件に適したシステム設計ができる。また、発電機や制御盤、インバータ、コンバータなどをパッケージ化し、省スペースユニットによる工事費用削減が可能である。

なお、本発電システムは、電気事業法において現在検討されている小型バイナリー発電設備の規制緩和要件に合致している。

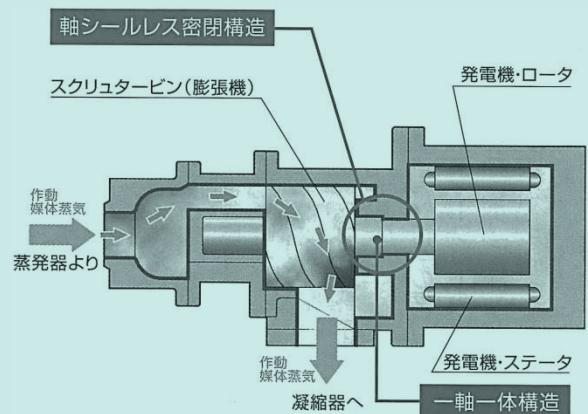


図3 半密閉スクリュータービン方式バイナリー発電機

## 中厚板溶接最適ロボット「ARCMAN™-GS」

湊 達治・近藤 亮

溶接事業部門 開発部

当社の溶接ロボット ARCMANシリーズは主に建設機械や建築鉄骨、橋梁、鉄道車両などの中厚板溶接の分野で多くの納入実績がある。そうしたなか、建設機械を製造する溶接現場では、「大型ワークへのアプローチがしやすい」、「床面から装置類がなくなり安全性・作業効率がよい」などの理由から、ロボットを天吊り移動装置に搭載してワーク上方からアプローチする「天吊りシステム」の需要が増えており、今後もその傾向は進むと予想する。さらに、ワークの内面深くにトーチを入れ込む作業においては、トーチやトーチケーブルがワークと干渉しやすいという課題がある。この課題の解決手段として、トーチをロボットのアームに通す「内蔵化」が求められてきた。

そこで当社は、

- ①天吊りシステムに適した動作範囲を持つロボット
  - ②トーチとワークが干渉にくいトーチ内蔵ロボット
- というニーズに応えるため、中厚板溶接に適した溶接ロボット ARCMAN-GS (図1) を開発し、2011年9月より販売開始した。

### 特長

#### 1) 逆エルボ動作が可能でクラス最高の動作範囲

天吊りシステムでロボットがワーク上方からアプローチするときに、逆エルボ姿勢<sup>※)</sup>により従来よりも大きな



図1 ARCMAN-GS 概観

動作範囲が得られる。さらに、ロボットとワークとの干渉を避けたアーム姿勢をとることができる (図2左)。

#### 2) システムに合わせて選べるトーチ内蔵方式

次の2種類のトーチ内蔵方式が選択できる。

①トーチを手首に、ケーブルを上腕に通す (図3左)

②トーチを手首に通す (図3右)

①ではトーチおよびケーブルをロボットに通すことでワークとの干渉が従来機に比べて大幅に軽減する。

②はタンデム/シングルトーチ自動交換など、複数のトーチケーブルを持ち替える場合に有効である。

#### 3) タンデム/シングルトーチの自動交換 (開発中)

2本の電極から同時にアークを発生して溶接効率をあげるタンデムトーチと、汎用性の高いシングルトーチを自動交換することで、生産効率をあげる。

#### 4) 安定生産支援ソフト AP-SUPPORT に対応

当社の溶接機 SENSARC™AB500 および安定生産支援ソフト (AP-SUPPORT) との組合せにより、ロボット稼働中のエラー情報や溶接電流・電圧・送給抵抗などを管理・分析することができ、分析結果を活用して溶接工程における溶接品質・生産性を向上させる。

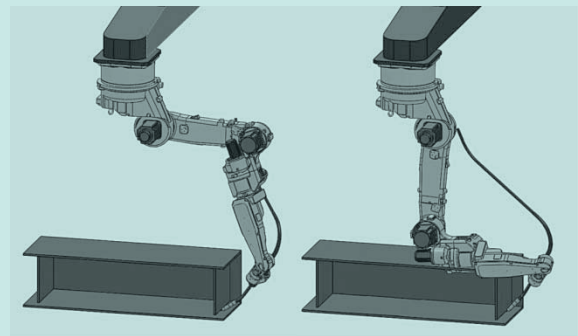


図2 逆エルボ姿勢 (左), 従来姿勢 (右)

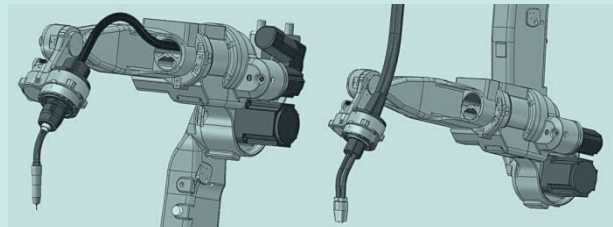


図3 トーチ内蔵方式

脚注) ロボットアームを人の肘に例え、図1のアーム姿勢に対して上腕が下腕を越えて反転した姿勢を逆エルボ姿勢と呼ぶ。

## 高成形プレコートアルミニウム材KS705

服部伸郎\*<sup>1</sup>(工博)・小西晴之\*<sup>2</sup>(工博)

\*<sup>1</sup>アルミ・銅事業部門 真岡製造所 アルミ板研究部 \*<sup>2</sup>アルミ・銅事業部門 技術部

アルミニウムは軽さや高い熱伝導率を特長とし、自動車分野や電機分野での用途拡大が期待される。さらに、表面改質処理を施すことによって、素材だけでは得られない様々な機能を付与することが可能となる。当社は、アルミニウムの板材にあらかじめ各種表面機能皮膜を形成した「機能性プレコートアルミニウム材KS700シリーズ」を商品化している。新たなユーザの要求に応えるため、既存のラインナップに加えてメニューの追加・強化を続けている。

プレコート材はユーザでのプレス成形により所定の形状に仕上げることを前提とするため、プレス成形によって皮膜がダメージを受けないことが求められる。高成形プレコートアルミニウム材KS705は、従来品が想定していた折曲げや浅絞り成形にとどまらず、深い絞り成形を行っても皮膜が追従する優れた成形性を有している。これにより、従来は困難であった形状へプレコート材の適用可能性が広がり、ユーザの形状設計自由度が拡大する。

### 特長

- ①L/D=2の円筒深絞り成形を行っても皮膜のはがれが生じない優れた成形性を備える (L:円筒の高さ, D:円筒の直径, 当社試験結果, 図1)。
- ②皮膜への着色が可能である (図2)。
- ③赤外線による放熱特性を示す「放射率」が無処理のアルミニウムの15倍以上となる。したがって、KS705を電機製品などの筐体(きょうたい)とすることにより、筐体内部の冷却に貢献する。
- ④電子部品のハンダ付け工程(250℃×1分)でも熱変色がほとんどない。

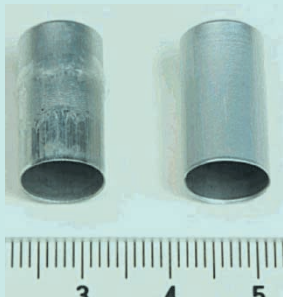


図1 成形試験例(左:一般塗装材, 右:KS705)

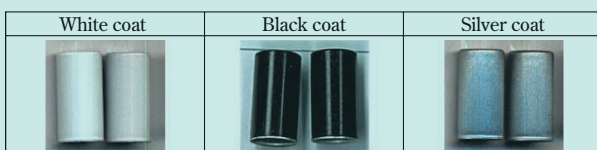


図2 着色品の成形例

- ⑤アルミニウム自身を持つ「軽さ」「熱伝導の高さ」などの特性は、一般のアルミニウムと変わりなくそのまま生かすことができる。
- ⑥軟らかくて熱伝導性に優れる純アルミニウムから、硬くて強度に優れる合金系のアルミニウムまで、ほとんどの品種、質別のアルミニウム板に処理が施せる。
- ⑦アルミニウム板にあらかじめ連続表面処理するため、陽極酸化など成形後にバッチ処理で行う表面処理と比べて生産性に優れる。

### 放熱性の検証

市販のLED電球(4W, アルミニウムダイキャスト製ヒートシンク採用)のヒートシンクを当社で試作したヒートシンクに交換し、LED表面とヒートシンク表面の温度を測定した(図3, 図4)。試作したヒートシンクは板プレス品相当形状で、1個は無処理のまま、1個はKS705処理を施した。定常状態に達した際の到達温度を図5に示す。KS705処理材ではダイキャストと同等の冷却効果が得られた。これにより、生産性に優れる板プレス品でもLED電球のヒートシンクとして実用レベルの放熱性が得られることが検証できた。

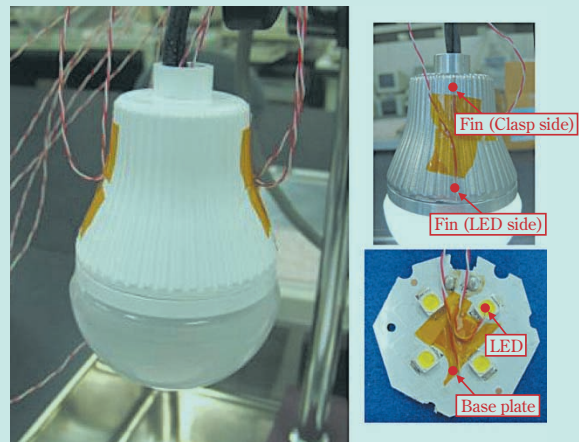


図3 LEDヒートシンク試作品を用いた放熱試験例(右は温度測定部位)

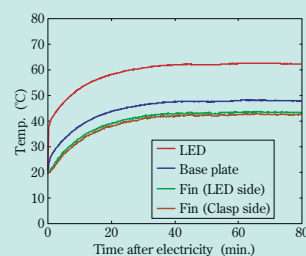


図4 放熱試験の結果例

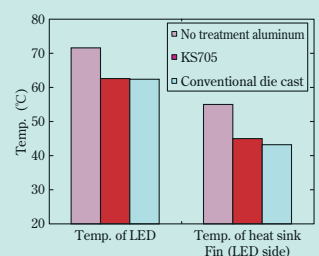


図5 定常状態到達温度の比較



## 電磁成形による軽量な貫通型アルミバンパシステム

津吉恒武・橋本成一

アルミ・銅事業部門 長府製造所 アルミ押出工場

近年、自動車用バンパシステムに対しては、環境負荷低減と操縦性向上の観点から大幅な軽量化が求められており、アルミ押出材を用いることは軽量化のための一つの有効な手段となっている。当社はこれまで、アルミ押出材を用いたバンパシステムの開発、生産を進めてきたが、さらに低コストで生産性の高い加工法が要求されるようになってきた。このようなニーズに対応するため、電磁力を使った加工法である電磁成形法を利用し、次世代の新バンパシステムを開発した。

### 電磁成形法の原理

電磁成形法とは、大容量・高電圧のコンデンサに電荷を蓄積し、コイルに大電流を流すことで瞬間的に生じる磁場を活用した高エネルギー・高速度加工法である。電磁成形の原理を図1に示す。パイプの拡管や縮管、板の張出成形などの三次元の加工が可能であり、バンパステイの成形に採用された実績をもつ<sup>1), 2)</sup>。

### 電磁成形による貫通型バンパシステム

この電磁成形法を新たに適用し、当社が世界に先駆けて開発した貫通型バンパシステム(図2)が量産車に採用された。

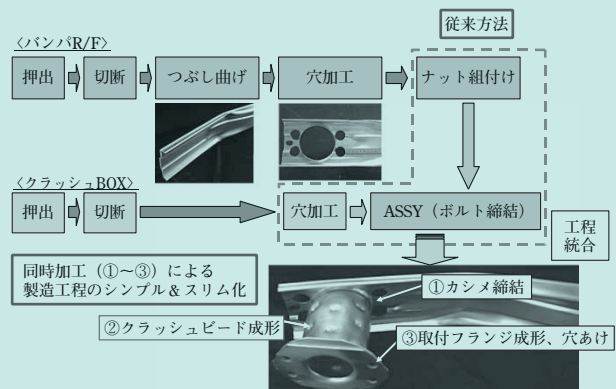
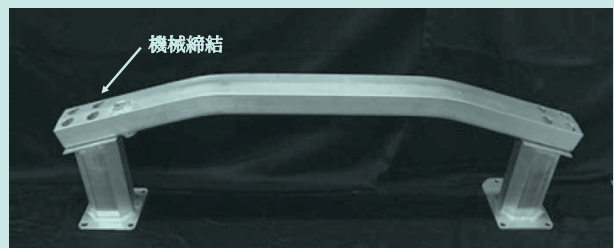
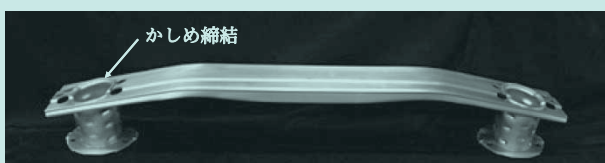
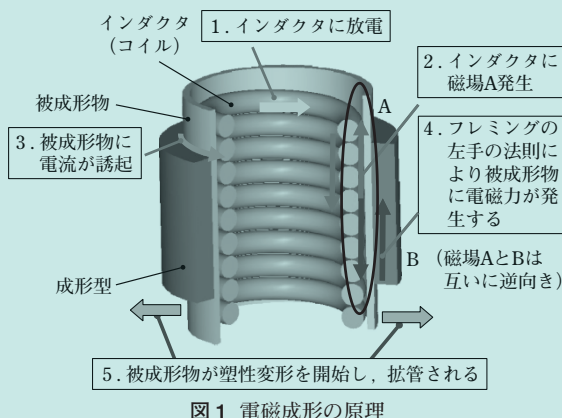
バンパシステムは、前後方向からの様々な衝突に対して車体を守るために車体の前後端部に装着するエネルギー吸収部材である。バンパ外面カバーの内側は、発泡フォーム材、それに続いて衝突力を受けるレインフォース

(バンパビーム)、およびそれを両端で支持するステイで構成されている。従来のバンパシステムでは、レインフォースとステイは溶接もしくはボルト・ナットによって機械的に締結されている(図3)。開発品は、レインフォースにステイを貫通させた上で電磁成形法を用いて直接かしめ、衝突時の荷重の変動幅を制御するためのクラッシュビード成形、さらには車体と締結するためのフランジ成形を電磁成形によって同時に成形することに成功した(図4)。この成形法の実用化により、従来のバンパシステム構造よりも部品点数を大幅に削減することができたことに加え、35%の軽量化を実現した。

自動車用バンパシステムには、環境負荷低減と操縦性向上の側面から軽量化が求められ、ハイテン鋼に続いてアルミ押出材の採用事例も増加しつつある。当社が開発した電磁成形を用いた貫通型バンパシステム構造は、従来のアルミ押出材を適用したバンパシステムよりもさらに軽量化を進めることができる。今後、軽量化の優位性を顧客にアピールし、当社バンパシステムの適用拡大を進めていく。

### 参考文献

- 1) 橋本成一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.2, p.65.
- 2) 津吉恒武ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.2, p.17.





## 主要製品一覧

- 鉄鋼事業部門
  - 鋼材：線材，棒鋼，厚板，熱延鋼板，冷延鋼板，電気亜鉛めっき鋼板，溶融亜鉛めっき鋼板，塗装鋼板，異形棒鋼「デーコン」・「ネジコン」，鉄鉄
  - 鍛鋼：船用部品〔クランクシャフト，機関部品，軸系，船体部品〕，産業機械部品〔型用鋼，ロール，橋梁部品，圧力容器ほか〕
  - チタン：航空機エンジン・機体用部品〔鍛造品，リング圧延品〕，薄板〔コイル，シート〕，箔，厚板，線材，溶接管，各種チタン材〔高強度用，耐食用，成型用，自動車マフラー用，ゴルフクラブヘッド用，眼鏡用，冷間鍛造用，建材用，医療材料用〕
  - 鉄粉：粉末冶金用鉄粉，圧粉磁芯用磁性鉄粉，土壌・地下水浄化用鉄粉，カイロ用鉄粉，脱酸素材用鉄粉，金属射出成形用微粉末
  - 電力：電力卸供給，熱供給
  
- 溶接事業部門
  - 溶接材料：被覆アーク溶接棒，半自動溶接用フラックス入りワイヤ及びソリッドワイヤ，サブマージアーク溶接用ソリッドワイヤ及びフラックス，ティグ溶接棒，溶接用裏当材
  - 溶接システム：鉄骨溶接ロボットシステム，建設機械溶接ロボットシステム，そのほか溶接ロボットシステム，オフラインティーチングシステム，溶接ロボット，溶接電源
  - 高機能材：脱臭・除湿・オゾン分解・有毒ガス除去，油煙除去など用高機能フィルタ，脱臭・除湿回収装置
  - 全般：試験・分析・検査・受託研究，教育指導，コンサルティング業務，産業ロボット・電源・機器の保守点検
  
- アルミ・銅事業部門
  - アルミニウム板：缶材，コンピュータディスク材，表面処理フィン材，自動車パネル材，一般材，箔
  - アルミニウム押出材・加工品：アルミニウム型材，管，棒，加工品〔自動車・輸送機器用部材，OA機器用部材，建設資材〕
  - アルミニウム・マグネシウム鋳鍛造品：アルミニウム鍛造品〔自動車，鉄道車両，航空機用部品〕，鋳造品〔航空機用部品他〕，機械加工品〔半導体・液晶製造装置部品〕
  - 銅板・条：半導体用リードフレーム材・リードフレーム，端子・コネクタ材
  - 銅管：エアコン用銅管，建設・給湯用銅管，一般銅管
  
- 機械事業部門
  - タイヤ・ゴム機械：バッチ式ミキサ，ゴム二軸押出機，タイヤ加硫機，タイヤ試験機，タイヤ・ゴムプラント
  - 樹脂機械：大型混練造粒装置，連続混練押出機，二軸混練押出機，成形機，光ファイバ関連製造装置，電線被覆装置
  - 高機能商品：真空成膜・表面改質装置〔AIP，UBMS〕，検査・分析評価装置〔高分解能RBS分析装置〕
  - 圧縮機：スクリュ・遠心・往復圧縮機，スクリュ冷凍機，ヒートポンプ，ラジアルタービン，汎用圧縮機，スクリュ式小型蒸気発電機
  - 素材成型機械：棒鋼線材圧延機，分塊圧延機，板圧延機，形状制御装置，連続鋳造装置，等方圧加圧装置〔HIP・CIP〕，各種高圧関連装置，金属プレス
  - エネルギー：アルミニウム熱交換器（ALEX），LNG気化器（ORV，中間媒体式，空温式，温水式，冷水式），圧力容器，航空宇宙地上試験設備
  
- 資源・エンジニアリング事業部門
  - 石炭エネルギー：改質褐炭（脱水炭）製造，完全無灰炭製造，コークスの高強度化，石炭液化，重質油軽質化
  - 新鉄源：直接還元鉄プラント，製鉄ダスト処理プラント，ペレットプラント，選鉱プラント
  - 原子力・CWD：原子力関連プラント（放射性廃棄物処理・処分），原子力先端設備，原子炉・再処理機器，使用済燃料輸送・貯蔵容器，燃料チャンネル，濃縮ボロン製品
  - 化学兵器処理に関するコンサルティング・探査・回収・運搬・保管・化学分析・モニタリング・安全管理・無害化処理施設建設／運営
  - 化学剤により汚染された土壌その他の無害化施設建設及び無害化業務
  - 爆発性物質・難分解性毒性物質の処理施設建設及び処理業務
  - 鋼構造物：砂防・防災製品〔鋼製堰堤，フレア護岸〕，ケーブル製作架設工事，防音・防振システム
  - 都市・交通システム：新交通システム〔ゴムタイヤ式中量軌道システムAGT，スカイレール，ガイドウェイバス，短距離システム〕，プラットホームドア，無線モニタリング，無人運転システム，PFI型事業，浮遊式連続埋立設備
  - 都市情報システム：環境監視システム，環境情報システムなど



### Iron & Steel Business

- Iron and Steel Products :** Wire rods, Bars, Plates, Hot-rolled sheets, Cold-rolled sheets, Electrogalvanized sheets, Hot dip galvanized sheets, Painted sheets, Deformed bars, Pig iron
- Steel Castings and forgings :** Marine parts (Crankshafts, Engine parts, Shafts, Ship hull parts), Industrial machinery parts (Forgings for molds, Rolls, Bridge parts, Pressure vessels)
- Titanium Products :** Parts for jet engines and airframes (Forgings, Ring rolling products), Coils, Sheets, Foils, Plates, Wire rods, Welded tubes, Titanium alloys for high strength applications, corrosion resistant applications and cold forging applications, Titanium alloys for motorbikes and automobiles exhaust systems, golf club heads, architecture and medical appliances
- Steel Powders :** Atomized steel powders for Sintered parts, Soft magnetic components, Soil and ground water remediation, Handwarmers, Deoxidizers, Metal injection moldings
- Independent Power Producer :** Wholesale power supply

### Welding Business

- Welding Consumables :** Covered welding electrodes, flux-cored and solid welding wire for semi-automatic welding, solid wire and fluxes for submerged arc welding, TIG welding rods, backing materials
- Welding Systems :** Robot systems for welding steel columns, welding robot systems for construction machine, offline teaching systems, other welding robots, power sources
- High Functional Materials :** Filters for deodorization, dehumidification, ozone decomposition, toxic gas absorption, and oil mist elimination; equipments for deodorization, dehumidification
- General :** Testing, analysis, inspection, and commissioned research; educational guidance; consulting; maintenance and inspection of industrial robots, power sources, and machinery

### Aluminum & Copper Business

- Aluminum and Aluminum Alloy Products :** Sheets, strips, plates, foils, shapes, bars, tubes, forgings, castings
- Aluminum Secondary Products :** Blank and substrates for computer memory disks, pre-coated materials
- Aluminum Fabricated Products :** Construction materials, electronics and OA equipment drums, automotive parts, heat exchanger parts, chamber, electrode parts
- Copper and Copper Alloys :** Sheets, strips, tubes, pipes
- Copper Secondary Products :** Conductivity pipes, inner grooved tubes for air conditioners, Lead frames
- Magnesium castings :** Sand mold castings

### Machinery Business

- Tire and Rubber Machinery :** Batch mixers, twin-screw extruders, tire curing presses, tire testing machines ,tire & rubber plant
- Plastic Process Machinery :** Large-capacity mixing / pelletizing systems, compounding units, twin-screw extruders, optical fiber processing equipment, wire-coating equipment, injection-molding machines
- Advanced Products :** Surface modification system (AIP, UBMS), inspection and analysis systems(high-resolution RBS system)
- Compressor :** Screw compressors, centrifugal compressors, reciprocating compressors, refrigeration compressors, heat pump, radial turbine, standard compressors, micro steam energy generator
- Material Forming Machinery :** Bar & wire rod rolling mills, blooming & billeting mills, strip rolling mills, automatic flatness control systems, continuous casting equipment, hot isostatic presses, cold isostatic presses, various high pressure machinery, metal press machines
- Energy :** Aluminum brazed plate fin heat exchanger(ALEX), LNG vaporizers(Open rack vaporizers, Intermediate fluid vaporizer, Hot water vaporizer, Cold water vaporizer, Air-fin vaporizer), Pressure vessels, Aerospace ground testing equipment,

### Natural Resources & Engineering Business

- Coal and Energy :** Upgraded brown coal, Hyper-coal(ash-free coal), High strength coke, Coal liquefaction, Heavy-oil hydrocracking
- New Iron :** Direct reduction plants, Steel mill waste processing plants, Iron ore beneficiation plants,
- Nuclear CWD :** Nuclear plants(radioactive waste processing/disposal), Advanced nuclear equipment, Spent fuel storage and transport packaging, Power reactor/Reprocessing plant components, Fuel channels
- Chemical weapon destruction(Consulting, search and recovery, Transportation, Storage, Chemical analysis, Monitoring, Safety management, CWD plant construction and operation), Detoxification of soil and other materials contaminated with chemical agents, Destruction of explosive ordnance and persistent toxic substances
- Construction Sabo and disaster prevention products :** Steel grid sabo dams, Flaring shaped seawalls, Cable construction work, Acoustic & vibration absorption systems
- Advanced Urban Transit Systems :** Automated guideway transit AGT, SKYRAIL, Guideway Bus, Platform screen door (PSD), Wireless monitoring, KOBELCO Automatic Train Control System, Floating conveyer system
- Urban Information Systems :** Environment monitoring systems, environment information systems



## 編集後記

### <特集:建設機械>

\*コベルコ建機㈱の主力製品である油圧ショベルは、最も普及台数の多い建設機械として世界中のお客様に愛用されています。最近では、中国を筆頭とする新興国市場が大半を占める状況になっておりますが、お客様に選択される商品の提供とそれを支えるものづくり力を強化することはますます重要になってきています。

\*2007年4月に発刊した「神戸製鋼グループにおける技術連携」特集号では、シミュレーション技術などを主体に建設機械に関する最新の技術を紹介いたしました。今回の特集号では、それ以降に商品化された新製品ならびに、それらの製品を支える「省エネ」、「低騒音化」などの差別化技術開発について掲載いたしました。また、2007年の特集号では触れられなかった生産設計技術やものづくり力強化活動の一端についても紹介しました。

\*コベルコ建機㈱では、本年の5月に稼動を開始した五日市新工場に設置されたグローバル・エンジニアリング・センター(GEC)を核として、今後も新技術・新製品の開発に邁進いたします。そのためにも、本特集号に対するご意見、ご要望がございましたらご連絡いただければ幸いです。

\*コベルコクレーン㈱の主力製品であるクローラクレーンは、規格・規制が明確に整備された先進国と、それよりも価格

を重視した新興国に市場の2極化が進んでおり、先進国の需要が低迷しているのに対して新興国の需要が増加し、比率が80%近くにまで高まっています。ただし、クローラクレーンの稼動範囲は広く、新興国市場においても欧米の大手ユーザが機械を持込むことも多いため、先進国の規制に対応したグローバル機が求められています。

\*今回の特集号では、クローラクレーンの先進国向けグローバル機に織込んだ省エネ・操作性向上、軽量化による輸送性向上および故障診断機能について、それらの技術を確立するために取組んだ研究開発の内容と合わせてご紹介しております。また、2008年度より販売を開始したホイールクレーンの新シリーズであるシティークレーンに織込んだ燃費改善や電子機器信頼性向上などの取組と、両製品に共通したテーマとしてキャブの強度・剛性・乗心地の評価技術と騒音・ヒートバランスの改善技術についてもご紹介しております。

\*クレーンは成熟した機械と思われがちですが、技術の進歩は今でも歩みを止めておらず、コベルコクレーン㈱でも次世代機を目指した研究開発を進めており、いずれまたご披露できる機会が来ることを切に願っています。

(小林真人・東谷和巳)

## 次号予告

### <特集:アルミ・銅>

\*当社およびグループ企業におけるアルミ・銅事業分野の製品は、アルミ板、アルミ押出・加工品、アルミ鍛造、銅板、銅管の5つを主要メニューとしており、いずれの製品も国内トップクラスの規模と技術力でお客様のニーズに対応しています。とくに近年は、自動車分野(アルミ板、押出材、鍛造品、端子コネクタ用銅板条など)およびIT関連産業向け(ディスク材、半導体・液晶製造装置用アルミ厚板、半導体リードフレーム用銅板条など)を重点成長分野と位置づけて技術開発を進めています。このような技術開発を通じ、当社特有の価値を持つ「オンリーワン製品」の強化拡充を図っているところです。

\*またアルミニウムおよび伸銅品メーカーとして、長年にわたって培ってきた技術と信頼を基礎として、海外展開も強化しています。2010年度から開始した「CCI&GO活動」などを通じて、新拠点の設立やアライアンスの強化と拡充により海外事業を拡大中です。例えば、自動車サスペンション用アルミ鍛造品の海外製造拠点を中国に設置することを2010年に決定しま

した。これにより、日米欧3極での鍛造品の生産体制を整え、成長著しい中国での自動車産業への対応を行います。さらに2011年末には、アルミ板製造拠点の中国への設置を決定しています。このほかにも、海外生産拠点は北米、東南アジア、中国を含めて9箇所あり、成熟市場および新興国におけるグローバル供給体制を構築しています。

\*上記のような展開、成長を支える基礎技術として当社は、アルミニウム、銅合金のもつ特性を向上させる研究、新たな機能を付加するための開発、さらに品質の高い製品をより安く、安定して供給する生産技術の開発に日々取り組んでいます。このようなアルミ・銅事業部門の製品と技術開発の一端を皆様にご紹介する企画(アルミ・銅特集号)を2008年に行い、トピックスとなる技術をご紹介いたしました。4年ぶりとなる次号では、アルミニウム、銅の分野で、当社の特徴ある製品および技術の進捗をご紹介させていただきます。需要家、関係各位の一層のご理解を期したいと考えます。

(橋村 徹)

## <<編集委員>>

委員長	杉崎康昭
副委員長	中川知和
委員	井上憲一
	小林真人
	清水弘之
	竹之下登博
	中島悟徹
	橋村和巳
	東谷恭志
	前田毅
	三村啓之
	森吉省二
	吉村省二
	小林真人
	東谷和巳

本号特集編集委員

## R&D 神戸製鋼技報

第62巻・第1号(通巻第228号)

2012年8月1日発行

年2回(4月、8月)発行

非売品 <禁無断転載>

発行人 杉崎 康昭

発行所 株式会社 神戸製鋼所

秘書広報部

〒651-8585

神戸市中央区脇浜町2丁目10-26

(神鋼ビル)

印刷所 福田印刷工業株式会社

〒658-0026

神戸市東灘区魚崎西町4丁目

6番3号

お問合わせ先 神鋼リサーチ株式会社

R&D 神戸製鋼技報事務局

〒651-2271

神戸市西区高塚台1丁目5-5

(株)神戸製鋼所内

FAX(078)992-5588

rd-office@kobelco.com

2012年8月1日

各 位

(株)神戸製鋼所  
秘書広報部

「R & D 神戸製鋼技報 Vol.62, No.1」お届けの件

拝啓、時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

また平素は、格別のご高配を賜り厚くお礼申し上げます。

このたび、「R & D 神戸製鋼技報 Vol.62, No.1」を発行しましたのでお届け致します。  
ご笑納のうえご高覧いただきましたら幸甚です。

なお、ご住所・宛先名称などの訂正・変更がございましたら、下記変更届けに必要な事項  
をご記入のうえ、FAXにてご連絡いただきますようお願い申し上げます。

敬 具

神鋼リサーチ株式会社  
R&D神戸製鋼技報事務局 行  
FAX 078-992-5588  
rd-office@kobelco.com

変 更 届

	変 更 前	変 更 後
貴社名		
ご所属		
ご住所	〒	〒
宛名シール 番号	No. _____ ←(封筒の宛名シール右下の番号をご記入下さい)	
備 考		
本紙記入者	お名前：	TEL：