

# クボタ技報

KUBOTA TECHNICAL REPORT

## 特集

グローバルな研究開発で食料・水・環境分野の  
課題解決を目指すクボタ



# クボタ技報

No.50 2017年1月

## 目次

### [特集]

グローバルな研究開発で食料・水・環境分野の課題解決を目指すクボタ

### 巻頭言

世界の人々の暮らしに、技術・製品・サービスを通して貢献するクボタ ..... 4

### 特集論文

インド向けマルチパーパストラクタ MU5501 の開発	6
グローバルサービスのためのエンジンシステム診断ツールの開発	12
中国向け皮むき付きコーン収穫機 PRO1408Y の開発	18
新興国向け新耕うん機の開発	24
“ノンストップベアラ” 技術の開発	30
Z700 プロ向けゼロターンモアの開発	36
海外向け乗用田植機 SPV の開発	42
グローバルに展開する水環境インフラ IoT ソリューションシステム KSIS (Kubota Smart Infrastructure System)	48
中国向け下水用新型水中ポンプ (KS-J 型) の開発	54

### 特集技術レポート

中国向けバックホー戦略機の開発	60
中東・オマーン・Al Ansab 下水処理場向け膜装置納入と運転	62

### 特集紹介記事

Kubota Research & Development Asia (KRDA) の紹介	66
北米 水・環境研究所の設立	68

### 一般論文

低価格戦略耐震形ダクティル鉄管 [NECS] の開発	70
民間工場向け無端ろ布走行式フィルタープレス (ランフィル) の開発	76
機内二液調質に対応した直胴型遠心脱水機の開発	82
Co フリーのスキッドボタン新材料 (KNC09) の開発	88
ZEB 向け調湿外気処理ユニットの開発	94

### 技術レポート

給水用ポリエチレン融着レス配管システムの開発	100
------------------------	-----

### 新製品紹介

非常用飲料水を備蓄可能な貯水機能付防災ヘッダ「貯めてるゾー床下設置」	102
プラント配管用のポリ塩化ビニル製二重管・継手	103

# KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.50 JANUARY 2017

## CONTENTS

### [Feature Theme]

**Kubota Group Aiming to Find Solutions to Challenges in Food,Water & Environmental Fields Through Global R&D**

### Prefatory Note

**Kubota –Contributing to the Lives of People Around the World  
Through Technology, Products and Services** ..... 4

### Feature Text

Development of MU5501, Multi-purpose Tractor for Indian Market ..... 6  
Development of Engine System Diagnostic Tool for Global Service ..... 12  
Development of Corn Harvester PRO1408Y with Husking Function for China ..... 18  
Development of New Power Tiller for Emerging Markets ..... 24  
Development of “Non-Stop Baler” Technology ..... 30  
Development of Z700 Commercial Zero-Turn Mower ..... 36  
Development of Riding Type Rice Transplanter SPV for Overseas ..... 42  
IoT Solution System of Water Environment Infrastructure Facilities: KSIS ..... 48  
Development of Submersible Sewage Motor Pump for China (KS-J Type) ..... 54

### Feature Technical Report

Development of Strategic Backhoe for China ..... 60  
Installation and Operation of Solid-Liquid Separation System for Al Ansab Sewage Treatment Plant in Oman ..... 62

### Feature Topics

The Introduction of Kubota Research & Development Asia (KRDA) ..... 66  
Establishment of Kubota Water and Environment R&D Center USA ..... 68

### General Text

Development of Low-price Strategic Earthquake-resistant Ductile Iron Pipe : NECS ..... 70  
Development of Filter Press with Running Endless Filter Cloth ..... 76  
Development of the Inside Two-agent Conditioning System for Cylindrical Centrifugal Dehydrators ..... 82  
Development of New Cobalt-free Material for Skid Buttons (KNC09) ..... 88  
Development of Desiccant Outdoor Air Ventilation Unit for ZEB (Net Zero Energy Building) ..... 94

### Technical Report

Development of Polyethylene Piping System with Fusion Less Joint for Water Supply..... 100

### New Products

Water Supply Storing Header for Disaster Prevention [TAMETERUZO (Under Floor Type)] ..... 102  
Polyvinyl Chloride Double Pipe and Fittings for Plant Piping ..... 103

# 世界の人々の暮らしに、技術・製品・サービスを通して貢献するクボタ

代表取締役社長

木 股 昌 俊

President and  
Representative Director

Masatoshi Kimata



政治、経済、自然、環境全てにおいて2016年は社会が大きく揺れ動いた年でした。インターネットなどの通信網が整備され、これらの情報は即座に世界中に行き渡る時代であり、国々の距離は格段に縮まっています。一方で世界の人々がそれぞれの地域で生活し、喜びや幸せを求めて生きているなか、その地域の真のニーズを捉えることは容易ではありません。クボタはこのことに対しどのように活動し世界に貢献していくべきなのか、キーワードは現場主義・お客様第一主義と考えています。

クボタは技術・製品を通じ、日本の食料・水・環境分野で120年をこえて社会に貢献してきました。近年は世界中に生産、開発の拠点を構えるグローバル企業として活動しています。それぞれの地域に密着した形でお客様の声を聴き、お客様の課題を解決するため、技術を深化させ、これを製品、サービスに展開し、提案しています。

しかし、クボタの目指すところは、お客様の課題解決だけにとどまってはいません。私たちはお客様に新たな喜び、感動を感じていただける技術・製品・サービスを提供する企業でありたいと考えています。この活動により、最も多くのお客様から信頼されることになり、最も多くの社会貢献をなしようと考えています。これがクボタの目指すグローバル・メジャー・ブランドです。

グローバル・メジャー・ブランドというのは、世にない新しい価値を生み出すことができる企業です。そのために最も重要となるのが研究開発です。

日本・世界で日々現場に根ざした開発に励むクボタの技術者は互いに議論し、考え、行動し、自身の持つ知識を高め、

更には新たな技術を学んでいます。新たな価値の創造は知力を養い、自らを成長させることにより生み出されます。技術者は新技術に裏付けされた新たな価値を持つ製品でお客様に満足していただける姿を求め、商品を企画し、開発計画を策定し、研究、開発、試験、評価の弛まない活動を行っています。

今回のクボタ技報50号は「グローバルな研究開発で、世界の食料・水・環境分野の課題解決を目指すクボタ」を特集テーマといたしました。世界人口73億人のうち、14億人が暮らす中国や13億人が暮らすインドを含め、世界の新興国では、食料・水・環境の多くの課題に直面しています。これらの課題は新興国にとどまらず先進国を含むグローバルな課題でもあります。特集論文として中国・インド・タイなどの新興国や欧州・北米において、これらの課題解決に貢献する製品の開発事例を掲載しました。また、世界市場を対象としたエンジンシステム診断ツールのインターネット発信や、IoTを適用した水処理施設管理技術、中国への建設機械の展開状況、中東での水処理施設の設置状況、新たに設立した海外開発拠点の紹介記事も掲載しました。御一読いただき、グローバルに成長しているクボタを感じていただければ幸いです。

# Kubota – Contributing to the Lives of People Around the World Through Technology, Products and Services

The year 2016 was one in which society was greatly affected in all areas of politics, economics, nature, and the environment. Communication networks such as the Internet have developed, and it is now possible for information on the above areas to spread to places all over the world, largely reducing the distances between countries. On the other hand, people around the globe are living in their respective regions, and while they are searching for joy and happiness in their lives it is not easy to determine the true needs of their regions. Kubota is considering how to achieve this and contribute to the world, with the keywords of Priority Onsite and Customer-First Principle.

Kubota has contributed to society for over 120 years in Japan's food, water and environment fields through technology and products. In recent years, we have been operating as a global company that has bases of production and development all over the world. Keeping in close contact with each region, we listen to customers' opinions, and enhance technology to solve their problems, develop such technology into products and services, and propose them.

However, Kubota's goal is not limited to just solving customers' problems. We want to be a company that provides technologies, products and services that let customers feel new pleasure and excitement. By doing this, we believe that we will be trusted by the largest number of customers and make the most contribution to society. This is the global major brand that Kubota is aiming to become.

A global major brand is a company that can create new value not found elsewhere in the world. To achieve that, the most important task is research and development.

Kubota's engineers are working hard on field-based development in Japan and the world, having discussions with each other, thinking, acting, increasing the level of their own detailed knowledge and learning new technologies. Creating new value leads to greater wisdom and growth of oneself. Our engineers always seek to satisfy customers with products that have a new value, backed up by novel technology. They also plan products, formulate development plans, and conduct research, development, testing and evaluation activities in an untiring manner.

We have given this Kubota Technical Report No. 50 the special theme of "Kubota Group Aiming to Find Solutions to Challenges in Food, Water & Environmental Fields Through Global R&D." Out of the world's population of 7.3 billion people, a large number live in emerging countries, including the 1.4 billion people in China and the 1.3 billion in India. And they face many issues related to food, water and the environment. These issues are not limited to emerging countries but are also global ones that exist in developed countries as well. As feature text, we have published examples of our developed products that can help to solve these problems in emerging countries such as China, India, and Thailand, and also in Europe and North America. In addition, we have posted articles on our efforts related to products and services for the global market such as the following: an engine system diagnostic tool that is distributed over the Internet, technology that applies the IoT to manage water treatment facilities, the state of our development of construction machinery in China, the situation regarding our installation of water treatment facilities in the Middle East, and development bases that we have newly established overseas. Please read through these articles and see how Kubota is growing globally.

# インド向けマルチパーパストラクタMU5501の開発

Development of MU5501, Multi-purpose Tractor for Indian Market

トラクタ技術部／機械研究第三部／車両基礎技術部

約60万台のトラクタ年間販売台数を誇る世界最大市場であるインドでは、依然としてトラクタ普及率が低いことから、今後も市場拡大が見込まれる。クボタが、世界中のお客様から信頼を得て社会貢献するグローバル・メジャー・ブランドへ成長してゆくためには、インド市場での本格的な事業展開は必須である。そこで、重けん引を含むインド市場のさまざまな作業に対応したマルチパーパストラクタMU5501を開発した。現地に密着したマーケットイン開発を行い、従来の軽量コンパクトなクボタトラクタとは異なるコンセプトで開発を進めた。本稿ではインド市場の特徴、低燃費かつ高耐久性といった市場の要求に応えるための取り組みについて述べる。

## 【キーワード】

マルチパーパス、マーケットイン開発、重けん引、低燃費、高耐久性、強度解析

India has the world's largest tractor market with a demand of 600,000 units per year. Due to its low tractor penetration rate, further growth of the Indian market is expected. KUBOTA needs to launch full-scale operations in the world's largest market, India, in order to become a Global Major Brand that can contribute the most to society by being trusted by the largest number of customers. Therefore, we have developed the heavyweight tractor MU5501 suited for Indian multi-purpose uses including high traction. We have frequently visited Indian market and have conducted market-oriented development with different concepts from those of the previous lightweight and compact KUBOTA tractors. Here we show the characteristic way of operating a tractor in the Indian market and how to meet market demand for products with low fuel consumption and high durability.

## 【Key Word】

Multi-purpose, Market-oriented Development, High Traction, Low Fuel Consumption, High Durability, Strength Analysis

## 1. はじめに

農業において重要な役割を果たすトラクタの全世界の年間販売台数170万台のうち、1/3を超える60万台がインドで販売されている(図1)。その一方で、単位面積(ha)当たりのトラクタ台数は16.7台と世界平均が19台<sup>1)</sup>であるのに対して低く、インドは今後も成長が見込める世界最大のトラクタ市場と言える。

また、インドでは就業人口の58%が農業へ従事している一方で、農業部門がGDPに占める割合は14%とサービス業や鉱工業と比較して小さい<sup>2)</sup>。インドの更なる発展のためには、農業の生産性の向上と、農業従事者の所得向上が課題と言える。この解決策の一つが農業の機械化の促進である。

そこでクボタは2010年、「4WD」「軽量コンパクト」「高出力」を強みに日本やアジアの水田市場の機械化に貢献してきたトラ

クタをインドの水田地区向けに導入した。販売当初の不振に対し、スペックの改良を重ねることで適合する市場が広がり販売台数は増えたものの、限定的な販売となっていた。これは、重量不足が原因で、インドの一般用途であるトレーラ、そしてインドの畑作といった重けん引作業が十分にできないことが理由であった。

インド農業の更なる機械化を促進するには、お客様に感動してもらいような、インドの市場に適合した重量級トラクタを開発する必要がある。

本稿ではインド、そして世界の畑作という新たな市場へチャレンジし、クボタがグローバル・メジャー・ブランドへ成長していくための足掛かりとなるMU5501(図2)の開発について紹介する。

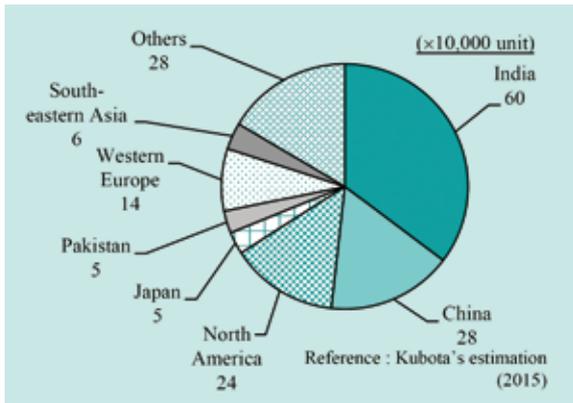


図1 世界のトラクタ年間販売台数  
Fig. 1 Annual Sales of Tractors in the World



図2 MU5501トラクタ外観  
Fig. 2 Appearance of MU5501 Tractor

## 2. 開発のコンセプトと目標

### 2-1 開発のコンセプト

従来の軽量コンパクトの開発思想で開発した機械をベースにスペックの改良をしてもインド市場へ十分に適合させることはできなかった。そこで、本開発ではインド市場に適合させるため、既存機種からのモデルチェンジではなく自由度の高い新規開発とした。そして、インド全域、中でも特に重点販売地域に注力して市場調査を実施し、ユーザのニーズを重視した開発コンセプトを固めていくなかで、ベンチマークを①現地メーカーでトップシェアのA社、②外資メーカーのB社と定めた。なお、A社は廉価で燃費の良さが高評価だが、車体からの油漏れが多い等、耐久性に不満を持たれている。一方B社は性能と耐久性で高評価だが、燃費の悪さに不満を持たれている。

現地の技術・営業スタッフとともに上記ベンチマークとした競合他社の市場評価、そして製品スペックやサービスにおける市場要望とその対応を議論し、最終的な開発コンセプトを「基本性能を重視するインド市場に適合したマルチパーパストラクタ」と決めた。

インドにおけるマルチパーパストラクタとは、農繁期には畑作けん引作業や水田代かき作業、トラクタを動力とする

トラクタマウントコンバインでの刈取り作業(図3)をし、農閑期にはトレーラで運搬作業(図4)をする、一年を通じて休ませることなくさまざまな作業が可能なることを意味する。

マルチパーパスに作業ができる重量級トラクタであることを前提に、以下の項目を重要開発目標とした。

- ①低燃費
    - －ランニングコスト低減によるユーザの収益向上
  - ②高耐久性
    - －通年使用のため、ダウンタイム低減によるユーザの収益向上
  - ③操作性・居住性の良さ
    - －長時間使用に対応した作業性向上、疲労蓄積低減
  - ④インド調達部品の採用
    - －コスト低減及びスペアパーツ供給性の向上
- 上記項目の中で競合他社が実現できていない「低燃費と高耐久性の両立」、そして①～③を達成できる「インド調達部品の採用」が特に重要な開発目標となる。

そこで本稿では、上記開発目標から「低燃費」、「高耐久性」、「インド調達部品の採用」の取り組みを紹介する。



図3 トラクタマウントコンバインでの刈取り作業  
Fig. 3 Harvesting with Tractor-mounted Combine



図4 トレーラでのサトウキビ運搬作業  
Fig. 4 Transporting of Sugarcane Using Trailer

## 2-2 開発目標

### (1) 低燃費

前述のとおり、インド市場ではマルチパーパスに年間を通じて休むことなく作業する結果、40 kW(55馬力：MU5501の出力)クラスのトラクタで年間稼働時間が1,200時間を超える地域もある。また、燃料代は全世界で余り変わらない一方で、インドでは人件費が安いことから、インドでは燃料代が相対的に高価となる。したがって、ランニングコスト低減のためにインド市場で低燃費は強く求められる。

そこで、市場で燃費の良さが高評価のA社同等、B社比10%低減の燃費を目標とした。

### (2) 高耐久性

生産性の向上とトラクタの長時間稼働による収入向上のためには、故障によるダウンタイムを低減することが重要となる。更に、消耗部品についてもサービスイン

ターバルの延長でより長く作業が可能となる。

そこで、基本的な部位の耐久性は市場で評価の高いB社同等を、クラッチ等の重要な機能部品の耐久性はB社以上を目標とした。

### (3) インド調達部品の採用

インドには政府又は民間機関による補助金制度(州によって異なり購入価格の約2~3割)があるものの、依然として85%のユーザがローンで購入しており、トラクタは高価である。また、部品が入手し易いことはダウンタイム低減に直結するため重要である。

そこで、コスト低減とスペアパーツ供給性の向上を目的にエンジンを除く金額ベースのインド調達率60%を目標とした。

## 3. 解決すべき技術課題

本開発における技術課題を以下に述べる。

### (1) 低燃費化のための最適な車速段設定

燃費を左右する重要な項目は「エンジン」と「作業に適した車速とトルク」である。

そこでまず、エンジン部門と排ガス規制対応、低振動・低騒音化しつつ、低燃費化したエンジンを開発した。「噴射ノズルの中央配置による燃焼の最適化」、「吸排気弁の4弁化による燃焼効率上昇」、「ピストンリングの薄幅化による摩擦抵抗の減少」によって、エンジン単体同士の比較において、単位出力時間当たりの燃料消費量g/kWhで従来比15%低減を達成した。

そして、トランスミッションの構成が副変速2段(L、H)×主変速4段(1~4)の計8段という中で、インドの作業に適した車速設定を行い、この低燃費エンジンの特性を活用し、目標を達成することが課題となった。

### (2) 高耐久性を有する車体強度の確保

重量級トラクタであるMU5501は、同等出力の他のクボトラクタよりも重く、車体各部にかかる負荷が大きい。更に、インドではこれまでクボタが参入してきた市場とは異なる特殊なトラクタの使い方を。広い天板を持つフェンダを活用して荷物を運搬することや、他国では見られないトレーラの大きい積載量が代表例である。表1にトラクタ出力とけん引するトレーラ重量を示す。ヨーロッパ向けで78 kW超のトラクタがけん引する重量を、インドでは37 kWクラスのトラクタがけん引することが分かる。つまり、同じ車格に対して負荷が高いということである。

そのうえ、トレーラ発進時に前輪を浮かせることで全車重を後輪にかけて、最大けん引力を得るといった後車軸や後車軸ケースに高い負荷がかかる使い方を(図5)。

このようなインド特有の使用方法を反映した新しい評価手法の確立が課題となった。

表1 トラクタ出力とトレーラ重量の比較  
Table 1 Comparison of Tractor Power and Trailer Weight

Destination	Power (kW)	Trailer weight (kg)
India	26~33	8,000~12,000
	33~37	12,000~20,000
	37~44	20,000~35,000
Europe	55	10,000
	78	12,000
	100	32,000



図5 インドにおける特徴的なけん引方法  
Fig. 5 Characteristic Traction Method in India

### (3) インド調達部品の採用

インド調達によるコスト低減及び部品の供給性の向上のために、機能部品である油圧機器、そして電装品やサービ部品等のサプライヤ既存品を使用可能な様に周囲部品を設計した。更に、コスト効果が高い大物鋳物ケースやギヤ軸メーカーの新規開拓を行った。本稿では、大物鋳物ケースのインド調達化について述べる。

トラクタにおけるケースは、単なるギヤ軸を囲うものではなく、作業の負荷を受け止める重要な強度部材であり、

形状決定が難しい。従来、新規にケースを作製する開発では、試作ケースで2~3回評価を重ねてから本作形状を決める。しかし、インドには試作という概念がなく、特に大物鋳物は型修正に大幅なコストがかかること、また日本の様に短いリードタイムで本作金型が作製できないため、1回の日本で試作したケースの評価のみで本作形状を決める、ということが課題となった。

## 4. 課題の解決技術

### 4-1 低燃費化のための最適な車速段の設定

#### 4.1.1 車速の設定

MU5501に搭載したエンジンは前述のとおり、単体状態で15%の燃費低減を果たした。そのエンジン特性を活かす目的でトラクタの出力特性を測定した。その結果、エンジン回転数1200 - 2000 rpm領域で燃費効率が良いことを確認し、この低燃費領域で作業できるように車速を設定することが有用だと分かった。そこで、インドにおける各作業での車速を調査した。この結果を踏まえ、各作業において低燃費領域を複数の車速段で選択可能な様に、車速段を設定した(図6)。例えばプラウ作業の時、負荷が大きく高トルクが必要な場合にはL-3速の低燃費領域で作業し、負荷が小さく低トルクで充分な際にはL-4速の低燃費領域で作業する。

#### 4.1.2 等燃費曲線を用いた燃費の検証

燃費の最終的な確認はインド現地での代表的な実作業にて行うものの、①燃費低減策の必要性を早期に判断するため、②インド全域・全作業での燃費確認は現実的に不可能であるため、トラクタの出力特性結果から等燃費曲線を作成し燃費の検証を行った(図7)。

例えば、プラウ作業時の車速において車体への負荷を3

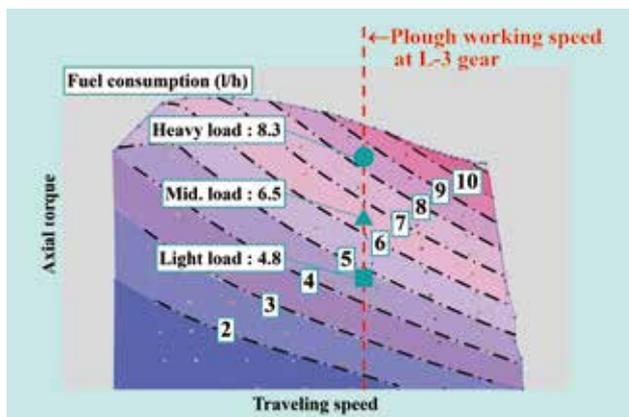


図7 MU5501の燃費曲線  
Fig. 7 Fuel Consumption of MU5501

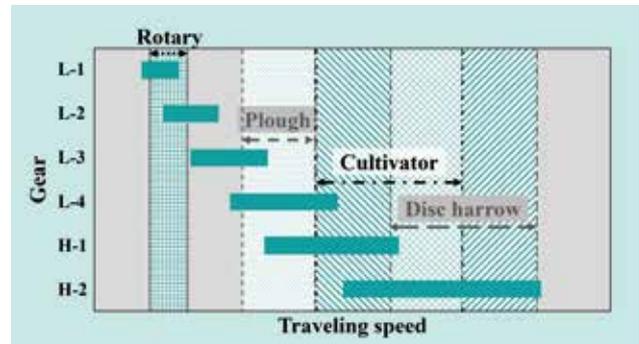


図6 インドでの作業車速及びMU5501の各変速段における低燃費領域での車速

Fig. 6 Working Speed in India and MU5501's Traveling Speed at each Gear at Low Fuel Consumption Engine Revolutions

パターンに分類して各負荷時の燃費を見積もった。競合のA、B社のトラクタでも同様にトラクタ出力特性を測定し、各負荷での燃費を見積もってMU5501と比較した(図8)。その結果、MU5501の燃費はA社同等、B社比15%低減と、目標を達成した。

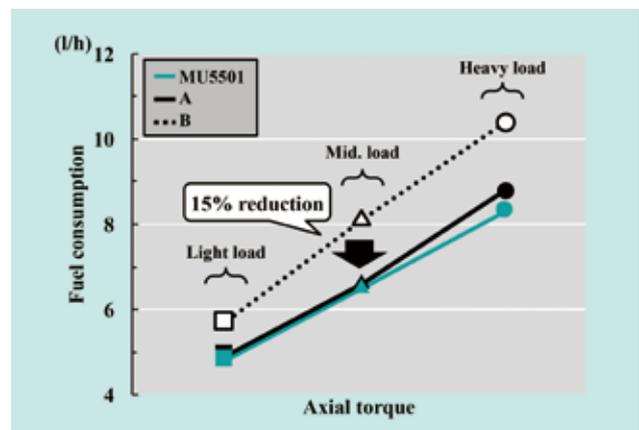


図8 プラウ作業車速での燃料消費量比較  
Fig. 8 Comparison of Estimated Fuel Consumption at Plough Working Speed

そこで、現地に試作機を持ち込み、各種作業での燃費測定を実施した(表2)。その結果、実作業でも燃費の目標を達成していると確認できた。以上より、等燃費曲線を活用した作業燃費検証が有用であると分かった。

表 2 インドでの各作業における燃料消費量比較  
Table 2 Comparison of Measured Fuel Consumption in each Operation in India (%)

Operation	MU5501	A	B
Plough	100	100	135
Cultivator	100	125	155
Disc harrow	100	85	150
Trailer	100	105	110

## 4-2 高耐久性を有する車体強度の確保

### 4.2.1 ギヤ軸の強度を確保する台上試験

幅広フェンダや後車軸オイルシール、クラッチディスク等、インド市場での使用方法を反映した種々の耐久性評価試験を実施したなかで、本節ではギヤ軸の耐久試験条件の構築について述べる。

トラクタの開発では、ギヤ軸の強度を実車作業の負荷を模擬した台上耐久試験にて評価する。しかし、インド市場では実車作業の負荷が不明のため、既存の試験条件で評価できない。そこで、評価試験の負荷や回数といった耐久条件を決定するため、インド現地に試作機を持ち込み、作業負荷を測定した。

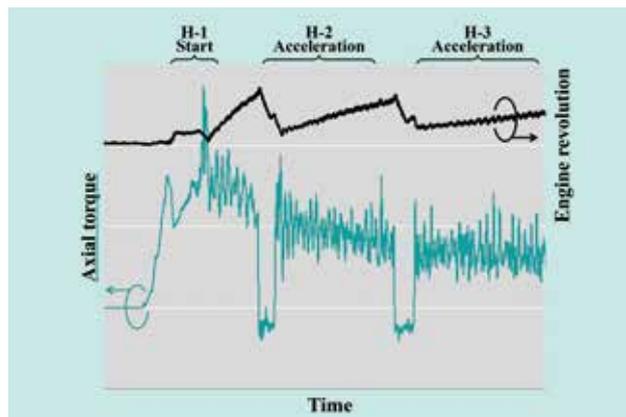


図 9 インドでのトレーラけん引における E/G 回転と車軸トルク  
Fig. 9 Axial Torque and Engine Revolution during Trailer Traction in India

### 4.2.2 現地作業での作業負荷計測

現地におけるトレーラ運搬、プラウ耕、カルチ等さまざまな作業にて作業負荷を測定した。ギヤ軸にかかる負荷は作業中の車軸トルク及びその発生頻度で評価できる。図9にトレーラ運搬作業時の車軸トルク測定結果を示す。

H-1速での発進時にピークトルクが発生していることが分かる。従来クボタがトラクタを導入してきた市場では経験のない負荷モードであったため、インド専用の試験項目

として、トレーラ発進車速段で発進時の衝撃を模擬した台上試験を追加した。更に、プラウけん引作業時の車軸トルクの測定結果から試験負荷を従来値よりも高く設定し、重けん引に対応する台上試験条件とした。

このようにインド市場へ適合する様に設定した台上試験負荷でMU5501のギヤ軸強度を確保した。

## 4-3 強度解析の活用によるインド調達部品の採用

### 4.3.1 各種試験でのケース応力測定

従来トラクタ開発において、重要な強度部材であるケースの形状は、①試作・②各種作業の応力測定及び実車での耐久試験による評価、というサイクル複数回繰り返して決定してきた。本開発では開発期間短縮のため、実車作業及び耐久試験負荷モードを解析モデルで再現して評価することで、強度解析のみで本作形状決定を行った。

製品状態に近い、複数ケースのアセンブリ状態での強度解析はこれまでの開発でも実績があったが、インド特有のトレーラ負荷は従来の解析条件に加え、車体とは別に動く慣性力の推定も必要となり、新たな試みとなった。

解析モデルと実負荷の合わせこみのために、従来の測定箇所に加えて応力及び加速度を同時に計測した。図10は実施した耐久試験モードの1つ、トレーラ急発進の様子を示

す。トレーラの荷重によって、後輪タイヤがたわみながらホイールスピンする一方で、前輪タイヤはほぼ浮いている。このほかにもさまざまな作業、耐久試験モードで解析モデルと実負荷を合わせこむためのデータの計測を実施した。



図 10 トレーラ急発進  
Fig. 10 Trailer Rocket Start

#### 4.3.2 解析へのフィードバックと合わせこみ

前述の実車応力測定結果を作業毎に解析へフィードバックし、各解析モデルで拘束条件・負荷条件を合わせこんで解析上で実作業負荷モードを作成した(図11)。

そして解析上の実作業負荷モードを用いて各作業で応力集中が起きないケース形状へ変更し、インド本作に移行した。その後、インドで製作したケースで応力測定及び実車耐久試験を実施して強度に問題ないことを確認することで、本強度解析手法の有用性を実証できた。

このように、コスト効果の高い大物鋳物ケースをはじめ、ギヤ軸やフェンダ等さまざまな部品をインド調達し、その性能・耐久性を確保した結果、インド現地調達率は70%となり、目標の60%を達成した。その結果、構成部品の多くが日本製である既販機に比べ、MU5501では部品を発注してから納入するまでの時間を大幅に短縮でき、スペアパーツの供給性の向上と、ディーラ・部品センターでの在庫管理の容易化を果たした。

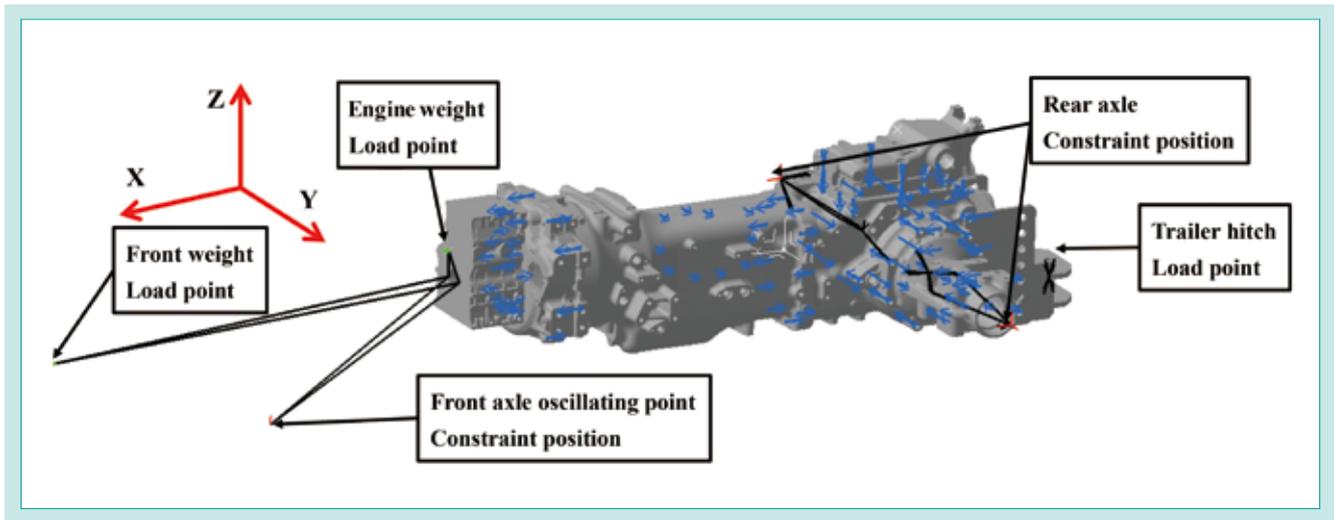


図 11 トレーラ急発進の解析モデルとその拘束条件及び負荷条件

Fig. 11 Analysis Model with Constraints and Load Condition: Trailer Rocket Start

## 5. おわりに

世界最大のトラクタ販売台数を誇り、そして農業の更なる発展が求められるインド市場において、農業の更なる機械化を促進するためにMU5501を開発した。軽量コンパクトという従来のクボタトラクタとは異なる、畑作業や重けん引作業等インドのマルチパーパスに対応した重量級トラクタの品質をマーケットイン開発にて確保した。

本稿で紹介した取り組みのほか、現地のさまざまな場所へ試作機を持っていき、その地区の熟練したオペレータにベンチマークした他社機と比較してもらい、その評価を反映させることで開発目標を達成した。そして、現地オペレータによる実作業

耐久を実施し、本稿で紹介した評価手法で確保した耐久性に問題がないことを確認した。

このように現地に密着したマーケットイン開発を推進した結果、製品・技術・サービスによるトータルソリューションでインドのお客様の信頼を得られる素地を作れたと考えている。2015年11月に販売を開始したMU5501は、お客様から求められる品質向上の要望に応え、より一層市場適合性を高めていく。

今後は、本開発モデルをベースに、アジア・中南米等の新興国をはじめとした畑作市場にも積極的に参入していく。

#### 参考文献

- 1) 日本貿易振興機構(ジェトロ):インドの農業機械業界 市場調査報告書(ニューデリー発) (2012年3月)  
<https://www.jetro.go.jp>
- 2) 農林水産省:平成23年度海外農業情報調査分析事業(アジア)報告書 (2012年3月)  
<http://www.maff.go.jp>

## グローバルサービスのためのエンジンシステム診断ツールの開発

Development of Engine System Diagnostic Tool for Global Service

エンジン技術部／エンジン環境管理推進部

産業用エンジンは排ガス規制の強化等により電子制御の適用が急拡大している。電子制御デバイスは排ガス規制レベルやエンジンシリーズにより異なり、その種類の増加に伴い診断サービスを行うためのツールの種類も増加している。また、客先要求対応等のサービスにおいて市場でエンジン(制御システム)のソフトウェア更新を行う場合、インターネットの活用が有効な手段であるが、セキュリティの確保が難しく実用化できていなかった。本開発では、多品種な電子制御を1つの診断ツールで容易に診断サービス可能とし、加えて、セキュリティ機能を導入しインターネットの活用による迅速なソフトウェア更新を小型産業用エンジン業界において他社に先駆けて実現した。

## 【キーワード】

エンジン統合診断、セキュリティ、インターネット活用、市場サービス、電子制御エンジン

These days, industrial engines are becoming more and more dependent on electronic control systems due to strict emissions regulations.

The functions of electronic control devices differ depending on the level of emissions regulations and engine series. With an increase in the types of such devices, the number of diagnostic tools has increased.

And although updating software to control engines through an Internet connection on-site is useful, it has been difficult to achieve this for security reasons.

In this development, various electronic control systems were easily serviced with one integrated diagnostic tool. In addition, a high level of security has been introduced to encourage users to promptly update software over the Internet in the market for small industrial engines.

## 【Key Word】

Integrated Diagnosis of Engine, Security, Internet Utilization, Market Services, Electronic Controlled Engine

## 1. はじめに

クボタエンジンは、社内の農機や建機に加え、社外の様々な産業機メーカーにもOEM採用され世界中で使用されている。様々な客先要求に応えた上で各地域の排ガス規制に対応するため、その型式数や年間生産台数は増加の一途を辿っている。

産業用エンジンは排ガス規制の強化により、電子制御の適用範囲が急拡大しており、電子制御(エンジン、システム)を診断サービスするためのツールの種類が増加し、ユーザに高度な知識がなければ正しく使い分けることができなくなることが予想された。

また、機差調整が必要である電子制御エンジンは、その制御を行うECU(Electronic Control Unit)に1台毎にユニークな調整値が書き込まれており、エンジンと1対1の関係となっている。1台毎にユニークなエンジンに対して世界中で起きる客先サービス要求への即応が求められる。

本稿では、これらの課題を解決し、グローバルな診断サービスを実現可能とした「エンジンシステム診断ツール」の開発を通して培った技術を紹介する。

## 2. 開発のコンセプトと目標値

### 2-1 開発のコンセプト

世界中で様々な機械に搭載されるクボタエンジン(図1)に対し、グローバルな診断サービスを可能とする「エンジンシステム診断ツール」は以下2点を開発コンセプトとする。

(1) 繋げば迷わず簡単に使える診断ツール

ユーザが診断対象を意識することなく適切な診断サービスを容易に行える様にする。

(2) 世界で1つだけのエンジンに対して世界の何処にあってもすぐに対応

型式及び生産台数が益々増加している上、1台毎にユニークである世界中の電子制御エンジンを迅速に診断サービス可能とする。

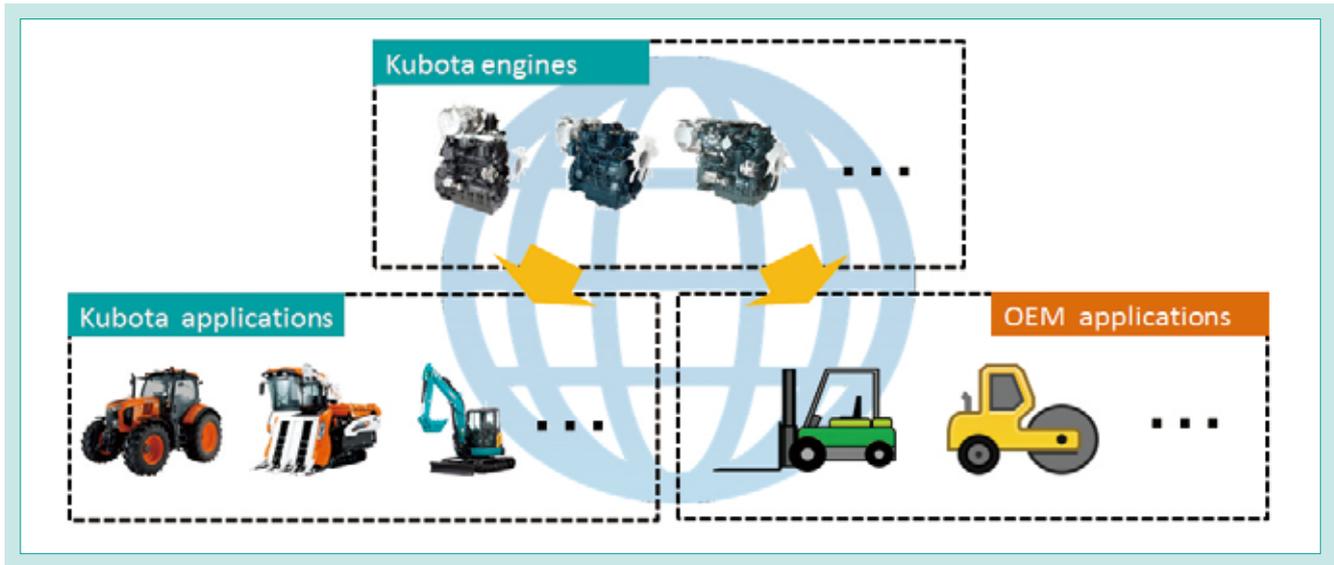


図1 クボタエンジンの搭載状況  
Fig. 1 Applications

### 2-2 開発目標

(1) ユーザによる診断対象の特定を必要とせず、多品種な電子制御(エンジン、システム)を1つの診断ツールで使い易かつ正しくサービス可能にする。

(2) エンジン制御ソフトウェア、機差調整値のインターネット配信を可能とすることで市場サービスを迅速化する。

## 3. 解決すべき技術課題

(1) エンジンシリーズやCRS(Common Rail System)等の制御デバイス、仕向け先(社内搭載、各OEM)毎に個別に存在する様々な診断サービス機能を、ユーザが診断対象毎に機能切り替えしなくとも適切に利用可能とする自動判別機能及び自動切替え機能の実現。

(2) エンジン制御ソフトウェアや機差調整値をインターネット配信するためのセキュリティ機能の実現

## 4. 開発技術

### 4-1 診断ツールの概要とデータ管理

#### 4.1.1 診断ツールの機能

診断ツールの主な機能は以下のとおりである。

- ・エンジン運転モニタ
- ・故障診断
- ・故障履歴、サービス履歴の閲覧
- ・サービス調整値変更
- ・デバイス動作確認テスト
- ・制御ソフトウェア更新

#### 4.1.2 本診断ツールを用いるための診断システム全体構成

診断システムの全体構成を図2に示す。

##### (1) 診断ツール(Diagnostic Tool)

PC及びPCとECUを接続する通信インターフェースで構成され、診断サービスを行うためのPCソフトウェア、データベースを内蔵する。

##### (2) サービスデータサーバ(Service Data Server)

診断ツールのデータベースやエンジン制御ソフトウェアが格納されており、ユーザはインターネット経由で本サーバに接続することで、それらのダウンロードが可能である。尚、データベースは暗号化されており、ユーザによる内容変更を防止している。

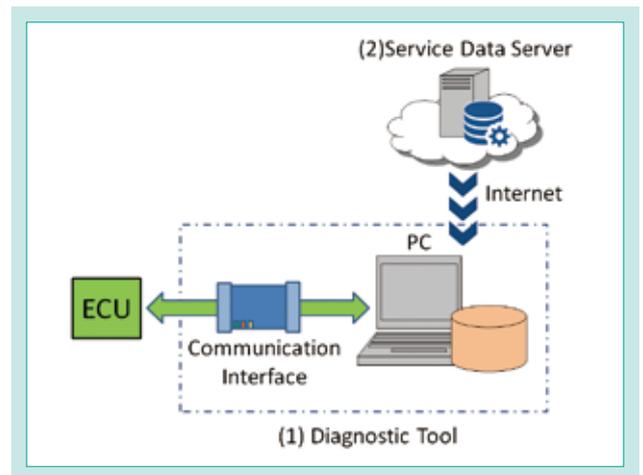


図2 診断システムの全体構成

Fig. 2 Overall Structure of Diagnostic System

#### 4.1.3 サービスデータサーバで管理する情報

##### (1) データベース

- ・サービスユーザの属性
  - 所属する仕向け先、権限レベル、ログインパスワード、診断ツール利用期限等
- ・エンジン型式毎の属性
  - 仕向け先、搭載機械のマニュアル情報等
- ・その他必要な管理情報等

##### (2) ECUに書き込むデータ

- ・エンジン型式毎の制御ソフトウェア
- ・エンジン1台毎の機差調整値

#### 4.1.4 診断対象ECUの内部データ構造

ECUの内部データは以下の要素で構成される(図3)。

##### (1) 制御ソフトウェア(Engine Control Software)

エンジン型式毎に異なる制御ソフトウェア及び識別情報

##### (2) 機差調整値(Engine Parameter)

エンジン1台毎の機差調整値

##### (3) 識別データ(Identification Data)

ECU1台毎にユニークなシリアルNo.等の識別情報

##### (4) ブートローダ(Boot Loader)

制御ソフトウェアをロードするための基本ソフト。

これらデータの書き込まれたECUはエンジンと1対1の関係であり、正しい組合せでのみ規制適合、品質が担保される。

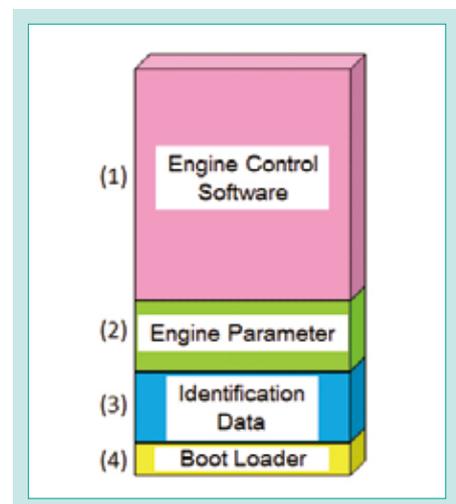


図3 ECU内部データ

Fig. 3 ECU Internal Data

## 4 - 2 繋ぐだけで簡単に使える診断ツール

### 4.2.1 診断対象の自動判別及び自動切替え

診断ツールがECUから読み出したエンジン型式毎の識別情報をデータベースと引き当て、診断対象エンジンのシリーズや制御デバイスを自動判別し、適した診断サービス機能に自動的に切り替える。また、データベースによる診断可能エンジンの制限機能を持つ。図4に示す様に、診断対象に関わらず1つの診断ツールで統合的に診断可能であり、また、クボタ社内搭載向けエンジンをOEMが診断す

ることはできない。

表1はエンジン情報のモニタリングを例示したものである。この様に診断対象エンジンによって、診断サービス機能を自動的に切り替える。

これらの機能により、ユーザは診断対象を識別せずとも適切な診断サービスを行える。

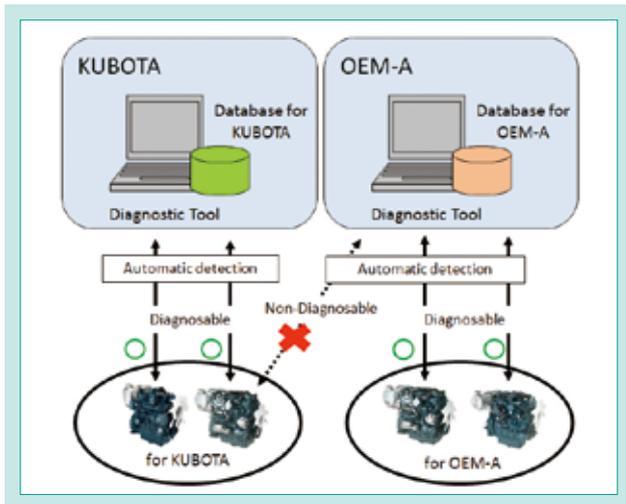


図 4 自動判別  
Fig. 4 Automatic Detection

### 4.2.2 ユーザ権限毎の診断サービス機能

診断ツール内にユーザ権限管理機能を設け、権限毎に利用可能な診断サービス機能を制限する。

表2に示す様にユーザの役割毎に運転データの参照のみ可能、機差調整値の一部を変更可能、といったユーザ毎に必要な機能のみ表示し、ユーザの混乱のないツール利用を実現した。

表 1 診断対象による機能制限  
Table 1 Function Restriction for Target

	Data Monitoring		
	Device 1	Device 2	Device 3
Engine A	○	○	○
Engine B	○	○	
Engine C	○		

表 2 ユーザによる機能制限  
Table 2 Function Restriction for each User

	Data Monitoring	Change of Service Parameters	Control Software Update
User 1 (High Level)	○	○	○
User 2 (Mid Level)	○	○	
User 3 (Low Level)	○		

### 4.2.3 複数コントロールユニットの同時診断

従来、エンジンは1台のECUで電子制御を行っていた。

最近では、ECUに加え後処理装置用コントロールユニットを追加し協調制御を行っているエンジンもあり、複数ユニットを同時に診断できなければ正しくサービスを行う事ができない。1つの診断ツールがECUと後処理装置用

コントロールユニットの両方と同時通信可能な方式を確立、適用することにより、各制御対象の運転状況や故障状況を同時に取得し、複数ユニットの協調制御を正しく診断できる。

## 4-3 制御ソフトウェア等のインターネット配信

### 4.3.1 従来のソフトウェア更新

ECUはエンジンと1対1の関係であるため、ECU制御ソフトウェア更新やECU破損が発生した場合は、対象エンジン出荷時と同じ制御ソフトウェアや機差調整値を書き込んだ

交換用ECUをクボタの工場で作製し出荷していた。

このため、客先に到着するまでに時間が掛かるという問題があった。

### 4.3.2 インターネットを活用したソフトウェア配信

エンジン制御ソフトウェアや機差調整値のインターネット配信により、市場にて制御ソフトウェア更新、交換用ECUの作成を可能とした。

インターネット活用にあたり、識別情報の照合機能や暗号化データの導入によりセキュリティを確保している。

#### (1) 制御ソフトウェア更新

制御ソフトウェアに更新が発生した場合の手順は以下のとおりである(図5)。

- ① サービスデータサーバより、該当ソフトウェアや更新対象の識別情報を含む暗号化データをダウンロードする。
- ② 診断ツールが対象ECUの識別情報を読み出し、暗号化データ内の更新対象識別情報と合致した場合のみソフトウェア更新を許可する。
- ③ 診断ツールがECUの制御ソフトウェア更新と正常書込確認を実施する。

#### (2) 交換用ECUの作成

ECU破損時の対応を迅速化する要素の1つとしてブランクECUを導入した。その構造を図6に示す。4.1.4項で述べた通常のECU内部データ構造とは異なり、1台毎にユニークなシリアルNo.等の識別データとブートローダのみ書き込まれている。販社や客先に予めストックしたブランクECUをECU破損時の交換用ECU作成に利用することで対応を迅速化する。

尚、このブランクECUを様々なエンジンに共通利用することにより、交換用ECUの管理点数を90%以上削減し、各所における在庫圧縮にも貢献している。

ブランクECUに制御ソフトウェアと機差調整値を書き込む手順は以下のとおりである。

- ① サービスデータサーバより、ECU破損が発生した対象エンジン出荷時と同じ制御ソフトウェア、機差調整値を含む暗号化データをダウンロードする。
- ② 診断ツールが対象ブランクECUの識別情報を読み出し、暗号化データ内の識別情報と照合し、合致した場合のみ制御ソフトウェア等の書き込みが許可される。
- ③ 診断ツールがECUに制御ソフトウェアと機差調整値の書き込みと正常書込確認を行う。

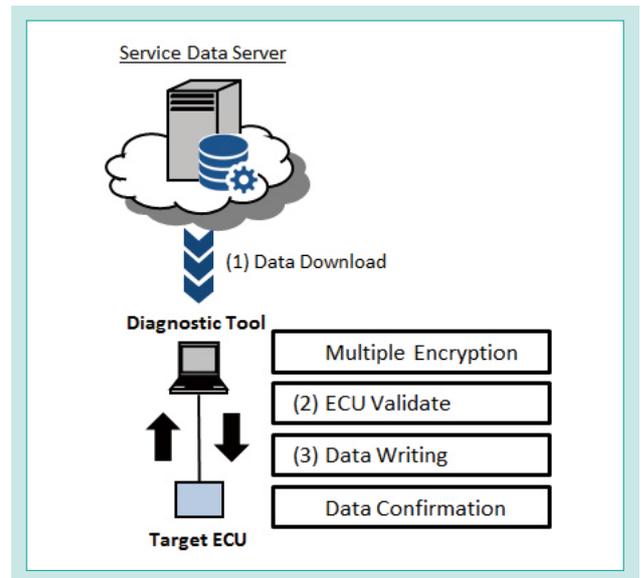


図5 暗号化データ配信  
Fig. 5 Delivery of Encrypted Data

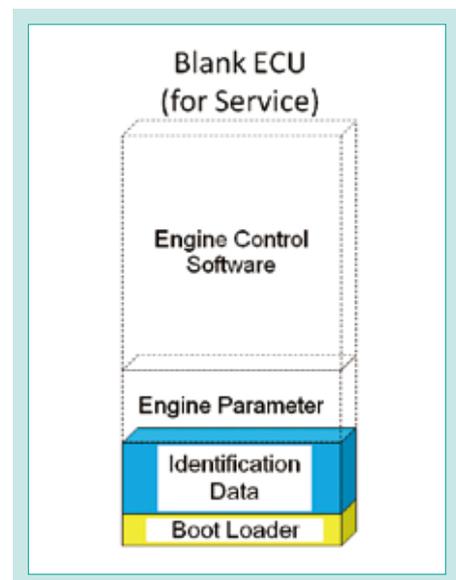


図6 ブランク ECU  
Fig. 6 Blank ECU

## (3) 暗号化データ構造

暗号化データの内部構造の一部を図7に示す。ECU照合情報、制御ソフトウェア、機差調整値を複数の暗号方式を組み合わせることで多重暗号化し、データの不正利用や情報漏えい防止を実現した。

## (4) トレーサビリティ機能

市場ECUの制御ソフトウェア更新状況やダウンロード

データ利用状況を把握、管理するため、それらの状況をインターネット経由で収集し、制御ソフトウェア書き込み作業を検証可能とした。

図8はトレーサビリティ画面の一例である。いつ、誰が、どのエンジン(ECU)に、どの様なソフトウェア書き込み作業を行ったのか記録されており、正しく状況を把握できる。

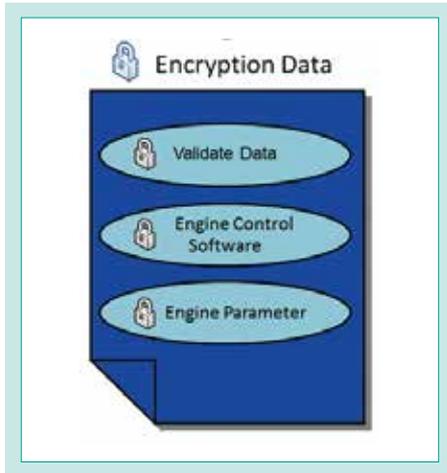


図7 暗号化データ構造  
Fig. 7 Encrypted Data Structure

Select	Action Date	Software Part No.	ECU Serial No.	User
<input type="radio"/>	2013/01/01 12:00:00	XXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXXX	User1
<input type="radio"/>	2013/04/01 15:00:00	□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□	User2
<input type="radio"/>	2014/07/20 18:00:00	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	User3
<input type="radio"/>	2015/02/21 11:00:00	△△△△△△△△△△	△△△△△△△△△△	User4

図8 トレーサビリティ  
Fig. 8 Traceability

## 5. おわりに

今回開発した診断対象の自動判別及び自動切替え機能によって、ユーザが診断対象を識別せずとも容易に診断可能となった。加えて、不正を防止するセキュリティ機能によって、インターネットを活用したソフトウェア配信を実現した。

グローバル市場において、シェアアップしていくためには

エンジン本体の性能に加え、サービス性も重要となる。

本開発により実現したグローバルな診断サービスを今後より拡充、深化させ、クボタエンジンのグローバル・メジャー・ブランドへの発展に貢献していく所存である。

## 参考文献

- 1) ISO:14230 Road vehicles – Diagnostic systems – Keyword Protocol 2000
- 2) ISO:14229 Road vehicles – Diagnostic systems – Diagnostic services specification
- 3) ISO:15765 Road vehicles – Diagnostic on Controller Area Network (CAN)

## 中国向け皮むき付きコーン収穫機PRO1408Yの開発

Development of Corn Harvester PRO1408Y with Husking Function for China

Kubota Agricultural Machinery(Suzhou) 技術部／収穫機技術部

中国のコーン市場は、作付面積3,354万ha、生産量約2億トンと世界第2位の生産国でありながら、収穫作業の機械化率は48 % (2014年)と低く、コーン収穫機の市場は今後更なる成長が期待できる。加えて、現在の市場にある中国ローカルメーカの機械は、性能が低くトラブルが多いため、市場からは高性能な機械が要望されている。そこで、市場要望をスピーディに把握し、開発に反映することができる久保田農業機械(蘇州)有限公司(以下「KAMS」という。)技術部が設計段階からクボタの収穫機開発部門と連携し、作業機ブロックの開発に携わった。その結果、市場要望である高速作業、収量ロス低減、高皮むき率、低燃費を実現した皮むき付きコーン収穫機PRO1408Yを短期間で開発した。

## 【キーワード】

コーン収穫機 高速作業、収量ロス低減、高皮むき率、低燃費

China is the world's second-largest producer of corn, with 33,540,000 hectares of planted acreage, and a production of about 200,000,000 tons of corn a year. However the rate of mechanization of harvesting work is low at 48 % (2014) and there are expectations that from now on the market for corn harvesters will further expand. In addition, the machines that currently exist in the market and that are made by Chinese local manufacturers have a poor performance and experience many troubles; hence, farmers are requesting high-performance and high-quality machines. Kubota Agricultural Machinery (Suzhou) (hereinafter KAMS) can speedily grasp the market needs and reflect them in its development. And its Technical Development Department has linked up with Kubota's Harvester Development Department from the design stage and participated in developing work blocks. As a result, we were able to quickly develop PRO1408Y, a corn harvester with a husking function, that meets the market's requests for high-speed work, reduction of yield loss, high husking rate and low-fuel consumption.

## 【Key Word】

Corn Harvester, High-speed Work, Low Loss of Yield, High Husking Rate, Fuel-efficiency

## 1. はじめに

中国では、経済成長とともに食生活が豊かになり、食用肉の需要が高まっている。それに伴い、家畜の飼料であるコーンに対する需要も増加している。そのため、中国のコーン市場は、作付面積3,354万ha、生産量約2億トンと世界第2位の生産国に成長した。また、中国3大主食の米・麦・コーンの中でも収穫作業の機械化率(図1)が48 % (2014年)と低く、コーン収穫機の市場は今後更なる成長が期待できる。

しかし、中国の国土は広く、各地域によって作物条件が異なり、求められるコーン収穫機の仕様も異なる。そこで、コーンの作付面積が全体の43 %を占める黄河中下流域にあたる中原地区(湖北省、山東省、山西省、河南省、陝西省)(図2)を今回の

開発ターゲットとした。

欧米では、コーンを脱穀し、「粒」で収穫する機械が、主流である。一方、中国では、コーンと麦や野菜との二毛作が多い。二毛作地区では、生育期間の関係からコーンが十分乾燥するまで待てず、高水分で収穫しようとする。しかし、高水分なコーンを粒で収穫すると、損傷が多くなるため、中国では「房」で収穫する機械が95 %以上と主流になっている。更に、房取りコーン収穫機は、3年前から刈り取った房の皮をむく「皮むき機」というユニットを搭載した機械が、主流になっている。開発ターゲットにしている中原地区も二毛作地区のため、本開発では皮むき付き房取りコーン収穫機を開発した。

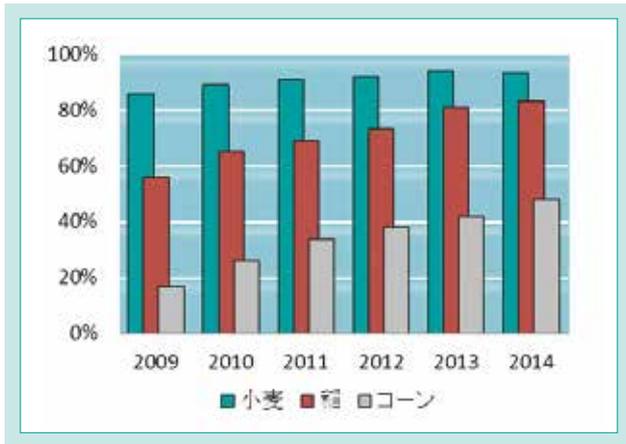


図1 中国収穫機の機械化率の推移

Fig. 1 Mechanization Rate of Harvesters in China



図2 中原地区

Fig. 2 Central Plains Area

## 2. 開発のコンセプトと目標値

### 2-1 開発のコンセプト

現在の中国ローカルメーカーのユーザは、機械の性能が低く、トラブルが多いため、儲けが少ない。

また、今回対象とした中原地区には、「道路や圃場が狭い」、「コーンの条間の種類が多い」という特徴がある。

そのため、「全長が短く旋回性が良い」、「条間の種類の多さに対応し、茎を押し倒さない」機械が求められている。

つまり、中原地区の特徴に対応した収量ロス低減、高皮むき率、低燃費という高性能でコンパクトな機械を開発すれば、農家からの委託指名が増加し、燃料代が少なくユーザが儲かる機械になる。

開発機を短時間で市場に投入するために、市場で要望されている性能をスピーディに把握する必要がある。それができるのは、市場に近く、言葉も通じるKAMS技術部で

ある。

そのためKAMS技術部が設計段階からクボタの収穫機開発部門と連携しながら開発に携わり、中原地区の特徴に対応した高性能な儲かるコーン収穫を実現する、皮むき付きコーン収穫機PRO1408Yを開発することにした。

なお、KAMS技術部は、コーン収穫機の作業機ブロック（刈取り部、フィーダ部、皮むき部、選別部、グレンタンク、チョッパ）（図3）の開発を担当した。

中原地区の特徴に対応し、ユーザが儲かる作業機ブロックの開発コンセプトは、以下のとおりとした。

- ・高速作業
- ・収量ロス低減、高い皮むき率
- ・燃費向上



図3 コーン収穫機の作業機ブロック

Fig. 3 Work Block of a Corn Harvester

## 2-2 開発目標

上記コンセプトを実現するために開発目標は、下記のとおりとした。なお、ベンチマーク機は開発機と同じエンジン馬力帯、同じ条数で中原地区において最も評価が高い機械を選定した。

### (1) 高速作業

ベンチマーク機比1.3倍の速度で刈取り作業が可能で高性能な機械を開発する。特に刈取り速度に大きく影響する「刈取り部」の処理能力をアップさせる。

### (2) 収量ロス低減

ベンチマーク機比30%収量ロスを低減させる。特に収

量ロスの約80%が発生している「刈取り部」のロスを低減する。

### (3) 高皮むき率

皮がむきづらい高水分(30~35%)の作物でも、ベンチマーク機比10%の皮むき率改善を実現する。

### (4) 燃費向上

ベンチマーク機比10%の燃費改善を実現する。特に消費馬力の約50%を占めるチョップパ(コーンの房を収穫した後の茎を切断する装置)の消費馬力を低減させる。

## 3. 解決すべき技術課題

本開発における解決すべき技術課題を以下に述べる。

### (1) 高速作業に関する技術課題

ベンチマーク機比1.3倍の速度で刈取り作業を行うためには、「茎から房をもぎ取る処理能力」を向上させる必要がある。

### (2) 収量ロス低減に関する技術課題

刈取り部の収量ロスは、以下に示す2種類のロスが多い。この2種類のロスを改善する必要がある。

- ①房が刈取り部サイドカバーに当たると、茎から分離され、サイドカバーの外側に落下する。

②条間の種類が多いため、房をもぎ取る前の茎を、ガイドする部分で倒し、刈り取れずに、ロスになる。

### (3) 高水分作物での高皮むき率実現に関する技術課題

皮むき機には、8セットのローラが有り、皮むき率向上のためには、各セットのローラに均等に房を分散させる必要がある。また、房がそれぞれのローラに対して平行な姿勢で導入されるようにする必要がある。

### (4) 燃費向上に関する技術課題

チョップパでの切断性能を維持しながら、消費馬力を低減する必要がある。

## 4. 開発技術

### 4-1 高速作業

刈取り部では、ストークローラという二対のローラを回転させ、そのローラの間にはコーンの茎が入ると、茎を下に引き込み、房をもぎ取っている(図4)。高速作業に対応するためには、この処理能力を向上させる必要があり、ストークローラの形状変更を行った。

開発当初、市場には2種類のストークローラが存在した。1種類目が、円筒の表面に丸棒を螺旋状に取り付けたような形状の「スクリュ式」と呼ばれるタイプ。特徴は茎を下に引き込む際に、すべりが発生し易く、効率よく処理できないため、高速作業には対応できない。しかし、房をもぎ取る際に茎まで切ってしまう「稈切れ」という現象が少ない利点があった。稈切れした茎は、房とともにグレンタンクに入ってしまう。そのため、農家が房と茎を分別しなければならないので、少ない方がよい。2種類目が、円筒の外側に6枚の板を取り付けたような形状の「プレート式」と呼ばれるタイプ(図5)。特徴は茎とのすべりがスクリュ式より少なく、作物を用いた試験の結果、1.4倍の車速まで対応可能であった。しかし、前述の稈切れが、スクリュ式よりも

多いのが欠点であった。

開発機では高速作業に対応するため、プレート式を採用した。そのため、稈切れの改善が大きな課題であった(表1)。そこで、ストークローラ上部に配置しているガイド板をストークローラ作用部よりも機体前方に延長することにより、ストークローラ部に茎が入る姿勢を改善し、稈切れ量をスクリュ式と同等にしようとした。延長する長さは100、150、200 mmの3種類で試験を行った。その結果、100 mmでは稈切れの改善効果が少なく、200 mmではストークローラ作用部までの抵抗が大きすぎ、詰まりが発生した。150 mmは、稈切れ改善効果があり、詰まりの発生もなかった。以上の結果より150 mmを採用した。

これらの結果から、稈切れが少なく、ベンチマーク機比1.3倍の刈取り速度を実現する刈取り部を開発した。また、プレート式ストークローラは処理能力が高いため、スクリュ式よりも20%(100 mm)短くすることができ、後述する機械の全長維持にも貢献した。

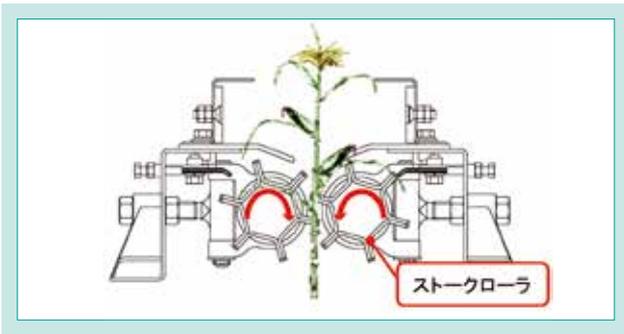


図4 ストークローラ構造  
Fig. 4 Structure of Stalk Roller

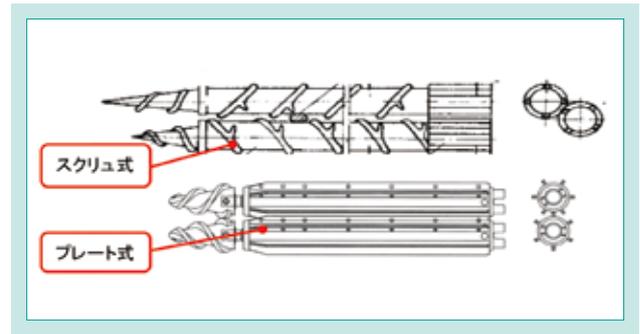


図5 ストークローラの形状比較  
Fig. 5 Comparison of a Screw Ways in Stalk Rollers

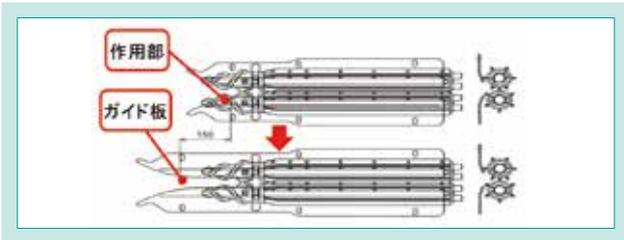


図6 ガイド板の変更  
Fig. 6 Change in the Guide Board

表1 ストークローラの特徴の比較  
Table 1 Comparison of Screws

	処理能力	稈切れ
スクリュ式	△	○
板式(ベンチマーク機)	◎	△
板式(開発機)	◎	○

4-2 収量ロス低減

収量ロスを低減するためには、技術課題で述べた2種類のロスを改善する必要がある。

4.2.1 刈取り部サイドカバー形状(図7)

ベンチマーク機の刈取り部サイドカバーは板金製であり、三角形の折り曲げ形状になっている。この構造では、房がカバーのエッジに当たりロスになる。そこで、開発機のサイドカバーは、樹脂製で円弧形状にすることにより、房がカバーと干渉しても脱落しにくい構造にした。また、壁をベンチマーク機より600 mm高くすることにより、房が飛び出さない構造にし、収量ロスを減少させた(図8)。しかし樹脂への材料変更は、耐久性確保が課題であった。そこで、房がカバーに当たる際の衝撃値を、試作品の破損状況から推定し、室内で加速試験を行った。その結果、材料をFRP、板厚を6 mmにすることにより耐久性が確保できる

ことを確認した。



図7 開発機のサイドカバー  
Fig. 7 Side Cover of a Developed Machine

4.2.2 条間適応性の拡大

条間の種類の多さに対応するため、「ギャザリングチェーン」という、ストークローラ部に茎をガイドするチェーンを刈取り部前方からストークローラ部に向けて配置している。このチェーンは、茎の抵抗にならないように機体進行方向に対して平行に近づけるのが理想である。しかし、平行に近づけようとする(図9の角度を小さくすると)、刈取り部先端を延長しなければならず、機械全長も伸びてしまう。中原地区の特徴として、全長が短い機械が求められているため、開発機は前述のストークローラを100 mm短くした分を利用して、全長を維持しつつ角度をベンチマーク機の60° から45° と平行に近付けた。その結果、抵抗が減り、茎がチェーンと干

渉した際の押し倒しのロスを低減させた。

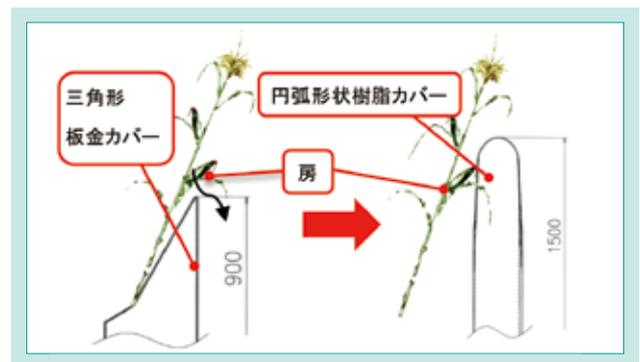


図8 ベンチマーク機と開発機  
Fig. 8 Benchmark and Developed Machine



図9 ペンチマーク機と開発機の比較

Fig. 9 Comparison of a Benchmark Machine and Developed Machine

前述2種類の収量ロス低減の結果、図10で示すように30.3%のロス低減を実現した。

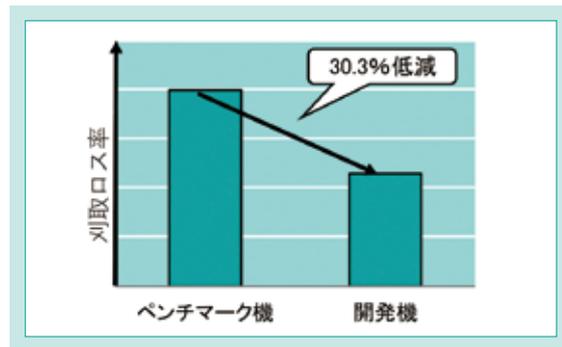


図10 刈取り部の収量ロス率比較

Fig. 10 Comparison of Yield Loss Rate at the Reaping Part

### 4-3 高皮むき率

皮むき機は、対面する二対のローラを回転させて、皮をむいている。前述のように、中国のコーンは、高水分の状態刈取りを行う。そのため、皮がむきづらい高水分の

コーンの皮むき率を改善するには「房の分散」と「導入時の姿勢改善」が必要であった。

#### 4.3.1 房の分散

刈取り部で収穫されたコーンの房は、幅520 mmのフィーダ部から幅1,150 mmの皮むき機へ搬送される(図11)。作業最高速度の場合、約40個/秒の房が供給される。その際、一部のローラに偏って供給されると、皮むき率の低下や詰まりの原因になる。そこで、皮むき機の全

幅を有効に活用することが課題になり、「房受けガイド」という房を分散させるプレート(図12)を2箇所設置した。開発当初は、房がフィーダから排出される1箇所のみであったが、分散が不十分だったため、その房が落下する所にも設置することにより、分散効果を向上させた。

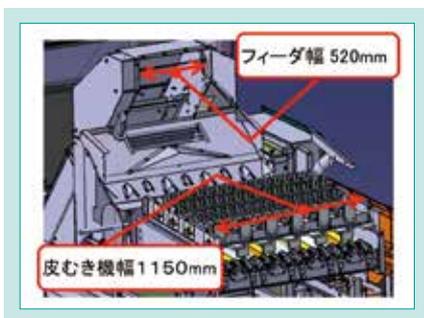


図11 フィーダと皮むき機幅

Fig. 11 Width of Feeder and Husking Part



図12 房受分散及び姿勢改善部品

Fig. 12 Dispersion of Receiving Corn Tassels and Posture Improvement Part

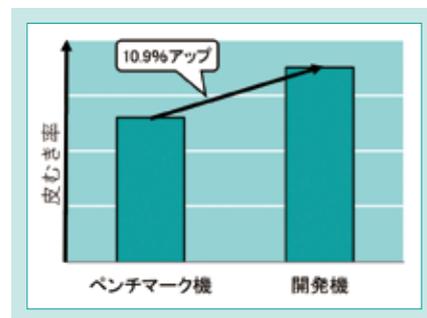


図13 皮むき率比較

Fig. 13 Comparison of Husking Rates

#### 4.3.2 房の姿勢

次に、皮むきローラに対して房が、平行に入るのが最も皮むき率が向上する。そのため、皮むきローラの前に「房導入ガイド」というガイド板を8箇所設置した。その結果、ローラに対して45°以内の角度の房は、平行に導入されるようになった。しかし、45°以上の房は、姿勢が改善さ

れなかったため、更に「導入回転体」という部品を回転させることにより、それぞれのローラに房が平行な姿勢で供給されるように改善した。

これらの改善の結果、高水分の作物において、ベンチマーク機比10.9%の皮むき率改善を実現した(図13)。

### 4-4 燃費向上

チョップは、切断刃を組み付けたロータリが回転し、茎を切断する。消費馬力低減のためには、切断性能が良く、抵抗の少ない刃に改善する必要がある。なお、コンバイン作業後に行うトラクタでの耕うん作業を容易にするため、

市場からは切断後の茎を短くすることが望まれている。そのため、切断性能は切断後の茎の地面からの高さ、「刈高さ」で評価した。

#### 4.4.1 新型切断刃

ベンチマーク機のチョップパ切断刃(図14)は、先端に摩耗防止用の高硬度の金属を溶着した構造のため、切断部が鋭利ではなく、切断性能が悪かった。そのため、多くの刃を配置し、切断性能を上げなければならなかった。しかし、切断抵抗の大きな刃を、多く配置することにより消費馬力が大きくなっていった。そこで、短期間で開発するために新型切断刃は、日本において他社が、トラクタのロータリ爪で所有

している技術を採用した。新型切断刃は、高硬度の材料を切断刃の裏面のみに溶着させた構造である。これにより、先端は、刃先全体に高硬度の材料が溶着されている構造より鋭利な状態のため、切断性能が大幅に改善された。更に、使用していくと、母材は摩耗するが、高硬度の部分は摩耗が遅いため、常に先端が鋭利な状態を維持する自己研磨作用が働き、切断性能が維持される。

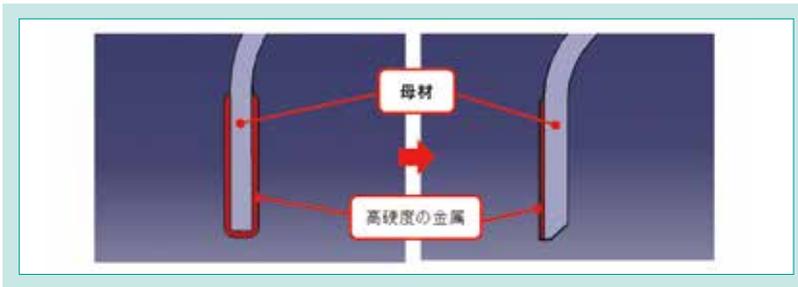


図 14 切断刃の形状比較図  
Fig. 14 Comparison of Cutoff Blades

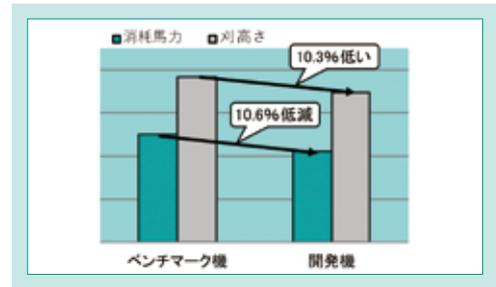


図 15 チョップパ性能比較  
Fig. 15 Chopper Performance Comparison

#### 4.4.2 切断刃のレイアウト

ベンチマーク機のチョップパは、合計114枚の切断刃で構成されている。開発機では、新型切断刃を用いることにより、合計48枚(図16)で構成しても、切断性能が高いため、

ベンチマーク機比で切断性能を10.3%向上させながら、10.6%の燃費向上を実現した(図15)。

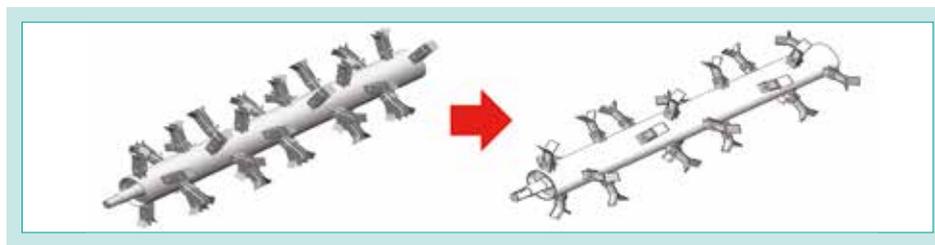


図 16 切断刃レイアウトの比較  
Fig. 16 Comparison of Revolving Blade Layouts

## 5. おわりに

本開発は下記の項目を実現した。

#### (1) 高速作業

「プレート式ストークローラ」の採用により、ベンチマーク機比1.3倍の速度での刈取り作業を実現した。

#### (2) 収量ロス低減に関する技術課題

刈取り部サイドカバーの樹脂化及び円弧形状への変更とギャザリングチェーンの機体前方への延長によりベンチマーク機比30%収量ロスを低減した。

#### (3) 高皮むき率

「房受けガイド」と「房導入ガイド」、「導入回転体」の採用により、高水分の作物でもベンチマーク機比10.9%の皮むき率改善を実現した

#### (4) 燃費向上

新型切断刃の採用により、ベンチマーク機比で切断性能を10.3%向上させながら、10.6%の燃費向上を実現した。

PRO1408Yは、開発開始から量産まで短期間で開発したことにより、2016年から事業の拡大に貢献することができた。この開発にKAMS技術部として設計段階から、クボタの収穫機開発部門と連携しながら携われたのは、非常に大きな経験であった。その経験を活かして、2015年に開発した4条機においても、刈取り部とチョップパを短期間で開発し、本年、販売を開始した。

今回は作業機ブロックのみであったが、今後は、機械全体をKAMS技術部単独で開発できるように、開発レベルを上げていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 中国農機市場発展報告(2014-2015)

## Development of New Power Tiller for Emerging Markets

## 新興国向け新耕うん機の開発

Kubota Research &amp; Development Asia

世界の人口増加に伴い、食料需要が増え続けている。作物の生産性を向上させ、世界中の食料需要に応えるために、多くの新興国では農作業の機械化を推進し始めているが、新興国の殆どの小規模農家は、現在、家畜や人力が主な労働力となっている。そこで、優れた基本性能、多目的機能を備えた、手頃な価格の農業機械の要求が高まっている。SIAM KUBOTA Corporation Co., Ltd. (SKC) では、この機械化の要求に応えるとともに、新興国へクボタブランドを浸透させ、販売ネットワークを広げていくために、新興国向けの耕うん機PEM480を開発した。

## 【キーワード】

耕うん機、トランスミッション効率、ギヤの改良型歯元曲線、ロータリ耕うん、爪軸

World demand for food is increasing along with increasing population. Hence, many emerging countries are starting to mechanize their farm work to increase their crop production capacity so that they can export food and meet that demand. Animals and humans are still the main sources of labor in farm work for most small farmers in emerging countries. This means there is high demand for farm machinery with a good basic performance and multi-purpose functions to help increase the crop production capacity at an affordable price for small farmers. To meet this demand, SIAM KUBOTA Corporation Co., Ltd. (SKC) developed PEM480, a new power tiller for emerging markets. Not only can it meet the above demand but also it can help SKC to enter emerging markets and establish sales and marketing networks to support future business growth for Kubota.

## 【Key Word】

Power Tiller, Transmission Efficiency, Gear Tooth Root Fillet Curve Modification, Rotary Tillage, Blade Shaft

## 1. Introduction

## Outline of Business

Power tiller is one of basic farm machines that most farmers use in early period of farm mechanization, or emerging period. In the emerging period, power tiller sales have slow growth because farmers are unfamiliar with its benefits and require time to learn and practice power tiller operation and its benefit to their farm works. Once they become familiar with the power tiller, and its benefit to farm work is widely known and accepted, the annual sales will increase rapidly. Later on farm mechanization will change into the growth period. In the growth period farmers who have experience using power tillers will be ready to step up their farm mechanization level by utilizing higher capacity farm machinery to expand their farm area and crop production. Then tractors will start to emerge into

market in emerging period similar to power tillers.

An example of mechanization development pattern is found in Cambodia as shown in Fig. 1.

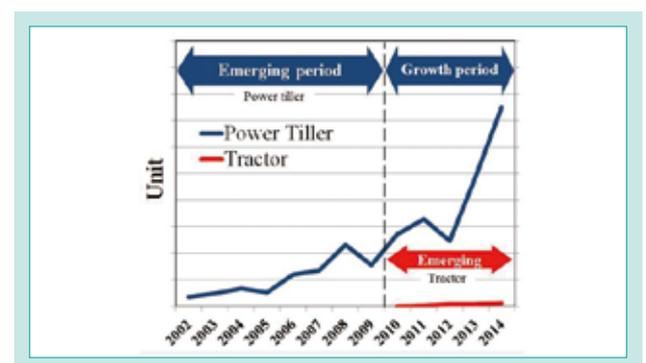


Fig. 1 SKC's Export Sales History to Cambodia  
図1 カンボジアへのSKC販売推移

The market survey result for annual demand of Power tillers in some emerging countries is more than 200,000 units (excluding the Chinese market) as shown in Fig. 2.

It shows both of emerging period and growth period of farm mechanization in many countries. For some countries they are still in the emerging period or just starting the growth period, for example Myanmar, Laos, Vietnam, Bangladesh, India and Sri Lanka are still in early period.

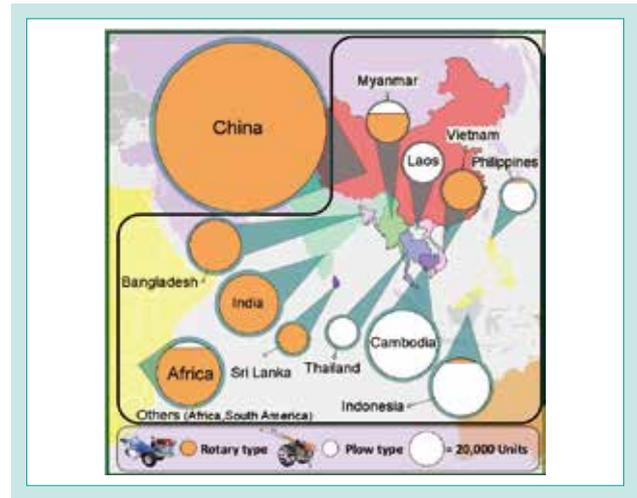


Fig. 2 Estimated Annual Demand for Power Tillers in 2016

図2 2016年度の耕うん機の需要予測

## 2. Development Concept and Target Value

### 2-1 Development Concept

Power tiller for emerging market model “PEM480” as shown in Fig. 3 was developed with 2 key design concepts, “High performance” (high working capability, high soil incoherent, low fuel consumption, high durability) and “Affordable price” (price that customer can pay).

In order to make these 2 key design concepts

easier for benchmarking between products in the market, we defined a new single indicator, “Total Performance/Price”. The target for this indicator was set higher than previous model (NC-S) and a benchmark model (A brand) to appeal farmer by both more benefit to their farm work and more value for their investment.

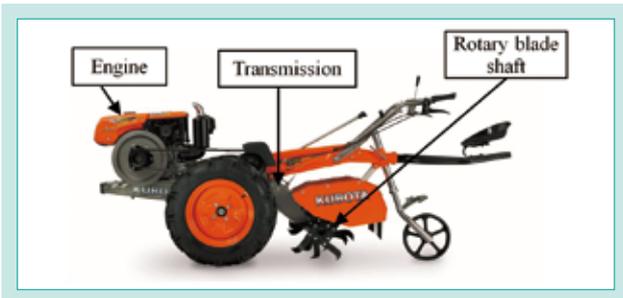


Fig. 3 Overall Structure of PEM480  
図3 PEM480の全体構造



Fig. 4 Overall Structure of NC-S  
図4 NC-Sの全体構造

### 2-2 Target Value

Although the indicator “Total Performance/Price” is defined, but the target values are divided into many performance related technologies such as 1) high efficiency and compact transmission, 2) optimal performance blade shaft, 3) low-shocked vibration rear wheel suspension system, 4) light-weight integrated belt & flywheel safety cover, 5) light-weight high-traction paddy wheel and 6) high strength single handle frame structure. Due to limited template space in this paper, only “High efficiency and compact transmission” and “Optimal

performance blade shaft” are selected as examples with following target value;

- 1) High efficiency & compact transmission
  - Max. Output Power ( $P$ ) > NC-S and A brand's
  - Transmission parts weight ( $m_t$ ) < NC-S and A brand's
  - Max. Efficiency ( $\eta_t$ ) > NC-S and A brand's
  - Transmission speeds > NC-S and A brand's
- 2) Optimal performance blade shaft
  - Soil incoherent > NC-S and A brand's

### 3. Technical challenges to be solved

In order to achieve high efficiency and compactness for power tiller transmission, gear is selected as main transmission component because it provides the highest efficiency among mechanical power transmission components. Therefore the technical challenge is designing a low-cost compact gear with high efficiency but still able to transmitting design power with enough durability.

Due to rotary blade shaft design involve in many design parameters such as blade curve, blade width,

cutting pitch, blade angular arrangement, blade tip radius etc. Defining optimal performance is also related to many performance parameters such as soil incoherent, fuel consumption and working capability. Therefore the technical challenge in the design of optimal performance blade shaft is how to evaluate overall performance of various combinations of blade design parameters to optimize performance blade shaft.

### 4. Developed Technology

#### 4-1 High efficiency and compact Transmission

To increase total transmission efficiency, we have to reduce total losses ( $L_t$ ) which are sum of loss ( $L_{ti}$ ) at each transmission components.

By reviewing recent research, power losses related to gearbox lubricated with oil, there are 4 sources of power loss, gear meshing loss ( $L_m$ ), gear churning loss ( $L_{ch}$ ), bearing loss ( $L_b$ ) and seal loss ( $L_s$ ). In simple gearbox (2 shafts, 2 gears, 4 bearings and 2 oil seals), power losses related to gear which is sum of  $L_m$  and  $L_{ch}$  are around 80 % of total power losses.[1]

Considering following gear meshing power loss equation, direction and position of parameters are shown in Fig. 5

$$L_m = P_{in} \cdot H_V \cdot \mu_m \quad (1)$$

$P_{in}$  = Input power

$H_V$  = Load and sliding velocity factor

$\mu_m$  = Friction coefficient

$$H_V = \frac{\pi \cdot (u+1)}{z_1 \cdot u \cdot \cos \beta_b} \cdot (1 - \varepsilon_\alpha + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2) \quad (2)$$

$$\mu_m = 0.048 \cdot \left( \frac{F_{bt}}{V_{\Sigma c} \rho_c} \right)^{0.2} \cdot \eta_{oil}^{-0.05} \cdot R_a^{0.25} \cdot X_L \quad (3)$$

$$X_L = \frac{1}{\left( \frac{F_{bt}}{b} \right)^d} \quad (4)$$

and following gear churning power loss equation,

$$L_{ch} = T_{ch} \cdot \omega \quad (5)$$

$T_{ch}$  = Churning torque

$\omega$  = gear rotational angular speed

$$T_{ch} = 0.5 \cdot \rho_{oil} \cdot \omega^2 \cdot R_p^3 \cdot S_m \cdot C_m \quad (6)$$

$$S_m = R_p^2 \cdot (2 \cdot \theta - \sin 2\theta) + (2 \cdot R_p \cdot b \cdot \theta) + 2 \cdot \left( \frac{z \cdot \theta \cdot H_{tooth} \cdot b}{\pi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta} \right)$$

$$C_m = 1.366 \cdot \left( \frac{h}{2 R_p} \right)^{0.45} \cdot \left( \frac{V_0}{8 R_p^3} \right)^{0.1} \cdot F_r^{-0.6} \cdot Re_c^{-0.21} \cdot \left( \frac{b}{R_p} \right)^{0.21}$$

$$F_r = \frac{R_p \omega^2}{g}, \quad Re_c = \frac{R_p \cdot b \cdot \omega}{\nu} \quad (7)$$

$S_m$  = Immersed surface,  $C_m$  = Drag coef.

$R_p$  = Pitch radius of gear

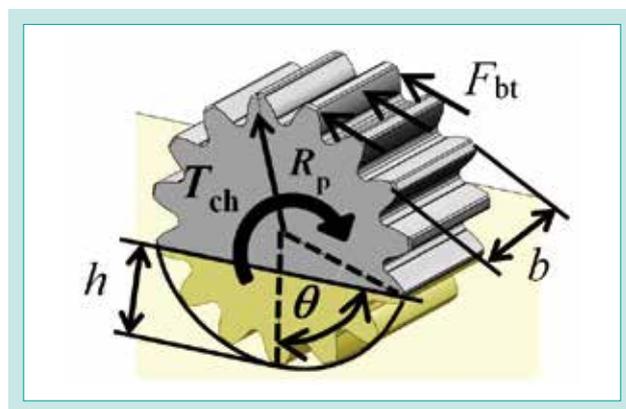


Fig. 5 Parameters Related to Power Loss  
図5 パワーロスに関わるパラメータ

From all these equations, if we consider only gear design related variables which are number of teeth ( $z_1$ ), pitch radius ( $R_p$ ) and tooth width ( $b$ ), we can find following relations,

- 1.Reducing number of teeth ( $z_1$ ) increases meshing power loss ( $L_m$ ).
- 2.Reducing pitch radius ( $R_p$ ) reduces churning power loss ( $L_{ch}$ ).
- 3.Reducing tooth width ( $b$ ) increases meshing power loss but reduces churning power loss.

For relation 1 and 2 above at fixed transferring torque, reducing number of teeth ( $z_1$ ) which also reduce pitch radius ( $R_p$ ) is limited by increasing force on gear tooth ( $F_{bt}$ ) until tooth root bending stress reach allowable limit or limited by root diameter that must not be smaller than shaft diameter for maintaining the designed shaft strength.

For relation 3, we took one pair of gears in PEM480 into calculation, we found that reducing tooth width ( $b$ ) is able to reduce sum of meshing power loss and churning power loss but also increase tooth root bending stress.

In order to achieve high efficiency and compact transmission while keeping stress at transmission

components in allowable limit, we introduced 2 technical innovations.

4.1.1 Tooth root fillet curve modification

There are 3 parameters related to design of modified root fillet profile: first, Contact ratio ( $C_r$ ) which defines highest point of root fillet curve when fixed outside radius of considering gear; second, Clearance of dedendum ( $C_{de}$ ) which defines bottom point of root fillet curve; third, Curve of fillet ( $C_f$ ) which is defined as curve line starting from highest point (from to  $C_r$ ) bottom point (from to  $C_{de}$ ) of root fillet with 3 tangential circular arcs[2] (simplest curve that can be produced by hob cutter).[3] The details of each parameter definition is shown in Fig. 6 and calculated by Eq. (8).

$$C_r = \frac{1}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} \left[ \sqrt{r_{op}^2 - r_{bp}^2} + \sqrt{r_{og}^2 - r_{bg}^2} \right] - \frac{C_d \tan \alpha}{\pi \cdot m} \quad (8)$$

$$r_{bp} = m \cdot z_p / 2, \quad r_{bg} = m \cdot z_g / 2$$

$z_p$  = number of pinion teeth,  $z_g$  = number of gear teeth

To find the optimal modified root fillet curve for one pair of gear mesh, we need to find possible design boundary of Contact ratio ( $C_r$ ) and Clearance of dedendum ( $C_{de}$ ) as a sample shown in Fig. 7.

By using Finite Element Analysis (FEA) to analyze root bending stress [4] and gear mesh motion analysis to help designing optimal curve of fillet ( $C_f$ ), the FEA results over design boundary are shown in Fig. 8 and comparison results over std. root fillet curve are shown in Table 1.

Table 1 Tooth Root Fillet Curve Modification Results Compared to Standard Root Fillet  
表 1 改良型歯元曲線と標準型歯元曲線の比較

Comparison Scope	Loss reduction	Weight reduction	Cost reduction
Gear train set	5.6 %	15 %	12.5 %

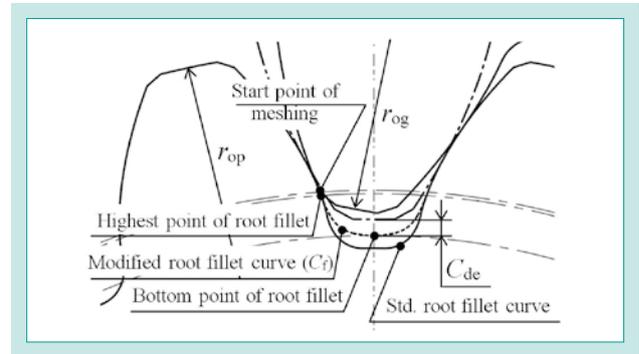


Fig. 6 Definition of Parameters Related to Design of Modified Root Fillet Curve

図 6 改良型歯元曲線的设计パラメータの定義

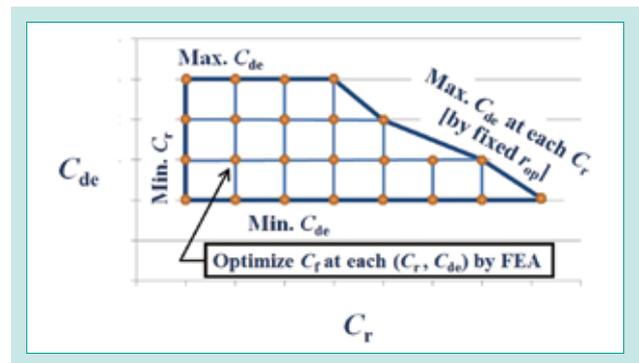


Fig. 7 Design Boundary for Pinion Mesh with Gear Train [Module:3]

図 7 噛み合いギヤ的设计限界 (モジュール 3)

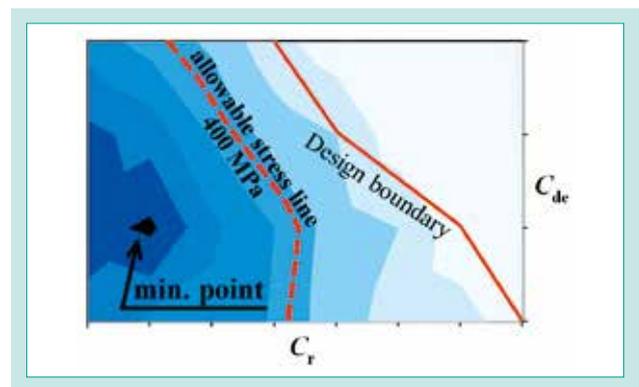


Fig. 8 FEA Results for Root Bending Stress of Pinion

図 8 15T ピニオンの歯元曲げ応力の FEA 解析結果

4.1.2 Direct Mounted Center Drive rotary Transmission

If calculating general transmission, the efficiency of gears ( $e_g$ ) is better than the efficiency of chain ( $e_c$ ), power loss of both Indirect Mounted Side Drive (I.M.S.D) structure and Direct Mounted Side Drive (D.M.S.D) structure having 2 sprocket-chain drive is

larger than power loss of PEM480 new structure (Direct Mounted Center Drive : D.M.C.D) having only one sprocket-chain drive.

Direct Mounted Center Drive (D.M.C.D) structure shown in Fig. 9 can reduce power losses and weight.

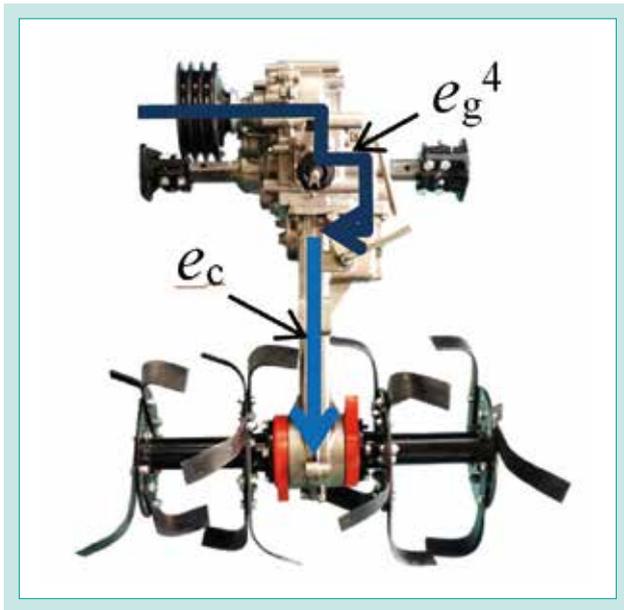


Fig. 9 Direct-Mounted Center Drive Rotary Transmission Structure  
図9 ダイレクトマウント型ロータリの動力伝達構

4.1.3 Conclusion of High efficiency & Compact transmission

From all design techniques applied above, we can achieved all targets as shown in Table 2.

Table 2 Results of Comparing Transmission Parts  
表2 トランスミッションの比較

	PEM vs NC-S	PEM vs A brand's
Max. Output power transmitted	>	>
Transmission parts weight	<	<
Max. Efficiency (clutch to blade shaft)	>	>

4-2 Optimal performance blade shaft

4.2.1 Design rotary blade width and pitch

Soil size, theoretically depends on blade cutting width ( $w$ ), tilling pitch ( $p$ ) and tilling depth ( $d$ ). Narrow blade cutting width and short tilling pitch provide small cut soil shape but also need more number of blades per flange ( $n_i$ ) and blade flanges respectively.

In order to find optimal performance blade shaft, we fix tilling depth ( $d$ ) as customer requirement and set design matrix between cutting width ( $w$ ) and total number of blades ( $N_b$ ) (tilling pitch is directly depended on  $n_i$  and  $N_b$ ).

We do comparison test between various types of blade arrangement in 3 tilling performance parameters (Soil Incoherent [SI], Fuel Consumption [FC] and Working Capability [WC]) and found that the soil size from blade arrangement with single blade per flange at shaft ends is larger than the acceptable size, therefore these types of blade arrangements were not considered.

4.2.2 Conclusion of optimal blade shaft performance

The result of blade shaft in dry sandy – clay soil is shown in Table 3, comparing with NC-S and A brand's performance.

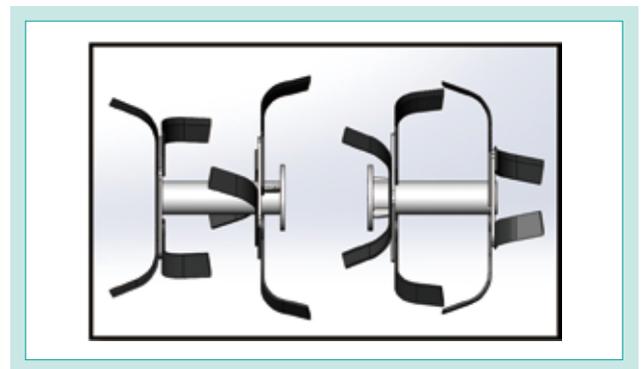


Fig. 10 Rotary Blade Arrangement  
図10 ロータリ爪配置

The test results of remaining blade arrangement types were evaluated with weight factor (WF) for WC:SI:FE then we found that the blade arrangement type as shown in Fig. 10 gives highest weighted performance score.

Table 3 Soil Incoherent Test Result  
表3 碎土率のテスト結果

Requirement	PEM vs NC-S	PEM vs A brand's
Percentage of Soil incoherent	110 %	125 %

## 5. Conclusion

### 5-1 Evaluation of product

With all developed technical innovations PEM480 can meet all targets and much better than NC-S and A brand's as shown in Table 4.

Table 4 Overall Product Evaluation Result  
表 4 全体評価結果

Requirement	PEM480 vs NC-S	PEM vs A brand's
Working capability (ha/hour)	147 %	167 %
Fuel consumption (ha/liter)	124 %	148 %
Soil Incoherent (%)	110 %	125 %
Overall product weight (kg)	72 %	76 %
Transmission parts weight (kg)	84 %	75 %
Max. Efficiency (%)	108 %	115 %

Finally, when comparing with NC-S and A brand's, we got evaluation result of product as shown in Fig. 11.



Fig. 11 Performance Comparison Result  
図 11 性能比較評価結果

### 5-2 Business impact

PEM480 was first launched in October 2015 in Myanmar and India, then it will be expanding to other emerging countries around the world from 2016. We forecast the sale volume as below Fig. 12 that the goal is for PEM480 to be world first ranked by market share.

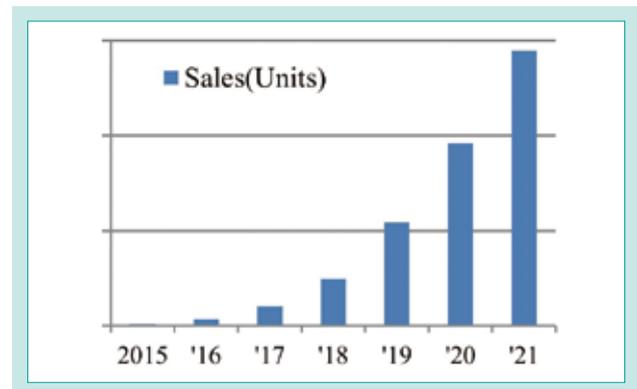


Fig. 12 Sale Volume Forecast  
図 12 販売台数予測

### 5-3 Next action

PEM480 currently has only 2 implements (rotary cultivator and disc plow) so the next challenge is to develop more implements to increase product versatility. Developing implements such as inter-

roll weeding for sugarcane field, ridge former implement for vegetable garden etc. will assist in the expansion of sales in various countries.

## Reference

- 1) Pedro M.T. Marques, et. al., "Efficiency of a gearbox lubricated with wind turbine gear oils", Tribology International Journal, 71, pp. 7-16, 2014.
- 2) M.S. Hebbal, et. al., "Reduction of Root Fillet Stress by Alternative Root Fillet Profile", International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), pp. 823-826, 2014 .
- 3) A. Kapelevich, et. al., "Tooth Fillet Profile Optimization for Gears with Symmetric and Asymmetric Teeth", GEAR TECHNOLOGY magazine, pp. 73-79, 2009.
- 4) V. Spitas, et. al, "Increasing the strength of standard involute gear teeth with novel circular root fillet design", American Journal of Applied Sciences 2 (6), pp. 1058-1064, 2005.

## Development of “Non-Stop Baler” Technology

## “ノンストップベアラ”技術の開発

Kverneland Group Ravenna

ノンストップ作業により、オペレータのストレスと疲労を軽減するとともに作業効率を向上させることができる。作業時間は、1ベール当たり15～18秒短縮され、300ベール／日を作る場合、1時間30分の時間短縮となる。FastBaleは、ノンストップ機能を備えながら、ベアラ・ラップ複合作業機(停止が必要)に比べコンパクトに設計されており、狭い圃場への出入りや道路走行が容易にできる。シンプルなベール搬送機構と新開発の高速回転バーチカルラップ機構により、高速でありながらベールを傷めない梱包・排出を可能としている。自動運転中、ベアラ各部の情報は、ディスプレイにアニメーションを用いて表示されるため、オペレータは長時間作業でもリラックスして高効率作業が可能である。

## 【キーワード】

ノンストップベアリング、高効率、コンパクト、自動、作業時間の短縮

Non-stop baling for reduced operator stress and fatigue, leading to improved operational efficiency; Increased output: Baling non-stop saves 15-18 seconds for every bale made. During a typical 300 bale day, this can give a time saving of over 1½ hours per day; Compact size: Despite its non-stop capacity, FastBale is smaller than other competitive baler wrappers, ensuring easy field access and stress free road transport; Simple bale transfer system and high speed vertical wrapping system ensure high output and gentle bale release; Fully automatic operation, with animated real time display, keeps the operator relaxed and fully productive throughout long working days.

## 【Key Word】

Non-Stop Baling, High-Productivity, Compact, Automatic, Time-Saving

## 1. Introduction

Round baler output has always been limited by the above sequence - when the bale has reached its required size and density, the process of bale formation & forward motion have to be interrupted to bind and eject the bale.

For many decades round baler manufacturers have been searching for ‘round baler utopia’ – a technical solution to produce round bales without stopping. This is because round baler operators would like to avoid having to stop the baler for up to 20 seconds (or more, per bale) hundreds of times a day.

Until now no baler manufacturer has succeeded, however Kverneland’s dedication to technology development in line with the customers’ requirements lead us to the development of the innovative FastBale solution.

FastBale (Fig. 1) is in perfect alignment with customer

requirements – faster and more efficient bale production, high quality bales, reduced stress and fatigue for the operator and reduction in the consumption of fuel.

Ultimately, in line with Kubota’s slogan “For Earth, For Life” the FastBale project has focused on optimizing bale processing time, which reduces fuel consumption ensuring minimum waste of resources in terms of fuel and time. The Baler-Wrapper Combination market has until now been dominated by machines which need to stop to bind each bale. The current market-leader (Irish producer) has used this technology successfully until now.

Kverneland now wants to increase number of machines sold in this sector and become the future ‘reference’ for all professional baler-wrapper combination users, especially contractors.

FastBale features a unique multi-chamber baler design, which allows non-stop bale forming and binding, coupled with a unique wrapping unit. With this non-stop baling and wrapping, the constant 'stop-go' of round baling has been eliminated, round baling becomes a simpler and much more efficient process for the operator.

On average, traditional balers need to stop for 15 to 20 seconds for binding and bale discharge. In addition there is a tractor deceleration and acceleration phase for each bale. With FastBale we avoid this stop process, offering increased capacity of up to 30 %.

A contractor making 250 silage balers per day could save at least 1 hour per day ... better for the operator and better for his business.

In addition the multi-patented FastBale design offers



Fig. 1 FastBale  
図1 ファストベール

many other advantages, examples - simple operator use, baling capacity, bale density, compact design and multi-function.

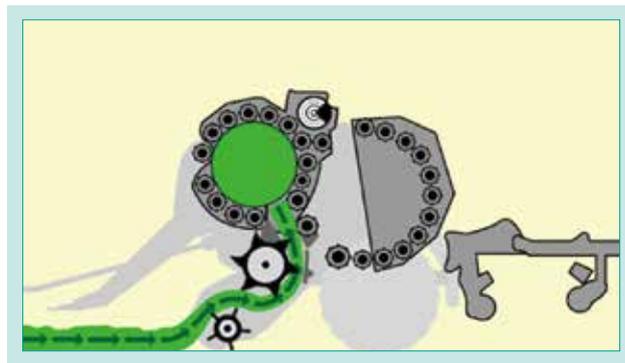


Fig. 2 Pre-chamber Filling  
図2 プレチャンバ フィリング

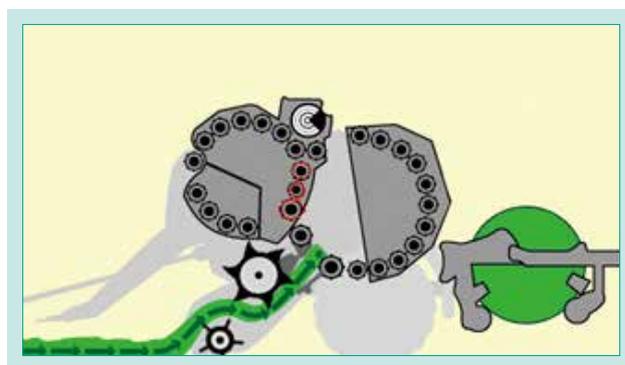


Fig. 3 Main Chamber Filling  
図3 メインチャンバ フィリング

## 2. R&D Concept and Target Value

### 2-1 R&D Concept

With Kverneland Group sourcing of balers relocated to Ravenna there was an urgent need for baler-wrappers in the product range, an important product area to maintain distribution network, high value product with a big opportunity for turnover growth and a possibility to re-enter this market and make progress against strong and well established competition; short term project to regain market presence by developing Flexiwrap product in cooperation with Goweil; decision to also start up a longer term development project to develop a market leading product. Strong feeling that we should strive to be innovative and should avoid launching a 'me too' product with little innovation. In Q3 2012 we had contact with an inventor, Seamus Varley who had come up with an idea for a

non-stop fixed chamber baler.

The Initial concept looked feasible and following discussions we suggested the idea would have further merit if it was also combined with a wrapper. We started the development with some functionality premises: Non-stop baling and wrapping cycle obtained by means of a perfect timing between all steps; Good crop flow from the ground to the pre-chamber positioned on top of the rotor (Fig. 2) ; Pre-bale transfer from pre-chamber to the main chamber with reduced crop loss (Fig. 3) ; Double compression of bale in the two chambers; Direct transfer of the bale from bale chamber to the wrapping system eliminating the requirement for any form of transfer system

### 2-2 Target Value

1. Increase productivity by the 30%;
2. Fuel consumption reduction;
3. Less stress for the driver and less risk to make

mistake in the baling cycle by having an automatic operational mode.

### 3. Technical challenge to be solved

From the beginning of this project, the major challenge to be solved is related to the electronic and the perfect timing in the bale-wrapping cycle; the timing is also related to the external influences:

- Tractor power;
- Oil flow;

Other technical challenges:

1. The machine needs to be as compact as possible, with a transport width below 28m and overall length minimized;
2. Driveline specification needs to be compatible with

working reliably in the wet silage conditions commonly found in Northern Europe;

3. A simple use control interface is a key element in a machine likely to be subjected to intensive operation;
4. Loading of net wrap and wrapping film consumables has to be quick and easy. Special focus as net unit is mounted high up on bale chamber;
5. FastBale must have a high level of reliability as it will predominantly be operated by customers making large numbers of bales, often in difficult conditions.

### 4. Developed Technology

#### 4-1 Crop Flow

##### 4.1.1 Technical Challenge

Crop Transport in all crop conditions from the pickup to the pre-chamber, transfer of the pre-bale from the

##### 4.1.2 Solution of Challenge

Rotor dimension has been one of the main points of the project; the idea to have two chambers in order to have a continuous cycle and the need to build a compact machine, we developed the idea to position the pre-chamber on top of the feeding rotor. We experimented with various geometry and rotor sizes. As a result of our research, we choose an 800 mm diameter rotor geometrically positioned between the

pre-chamber to the main chamber and bale finishing without any cycle interruption.

two chambers to assure the feeding paths to both chamber starter rollers to be the same. This gives us assured crop transport in all crops from the pickup to the pre-chamber and main chamber also minimizing power consumption.

Illustrated in red, the length of the two feeding channels as the crop leaves contact with the rotors tines (Fig. 4, 5).

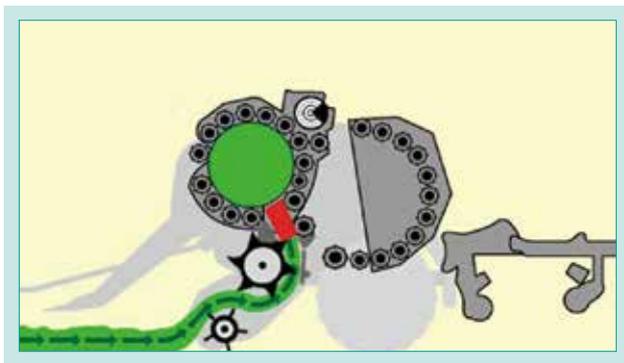


Fig. 4 Pre-chamber Feeding Channel  
図4 プレチャンバ フィーディングチャンネル

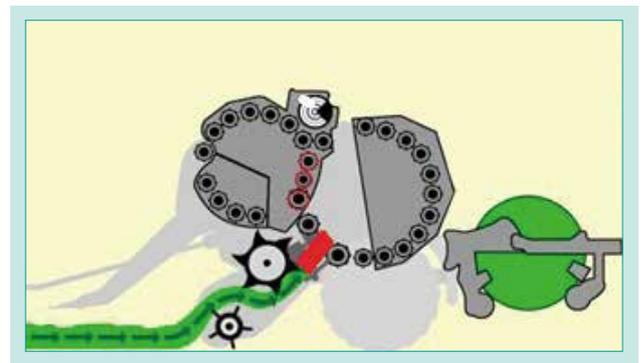


Fig. 5 Main Chamber Feeding Channel  
図5 メインチャンバ フィーディングチャンネル

#### 4-2 Machine cycle times - Baling and wrapping

##### 4.2.1 Technical Challenge

Software, Hydraulic and mechanical components have to communicate continuously in order to have

a perfect cycle and save effectively the 30% of the time compare a standard baler.

#### 4.2.2 Solution of Challenge

The technology will not be sold based on no-stop baling only if the customer cannot justify the additional investment costs so during the concept phase we investigated the time savings (cost savings) for a potential customer to justify their investment. Our research showed that standard combination machines had baling + wrapping cycle

time of between 50 and 65 seconds depending on the manufacturer and model. During concept phase we performed some calculations to estimate our cycle time. We confirmed the achievable maximum cycle time to be 30 seconds during prototype field testing (Fig. 6).

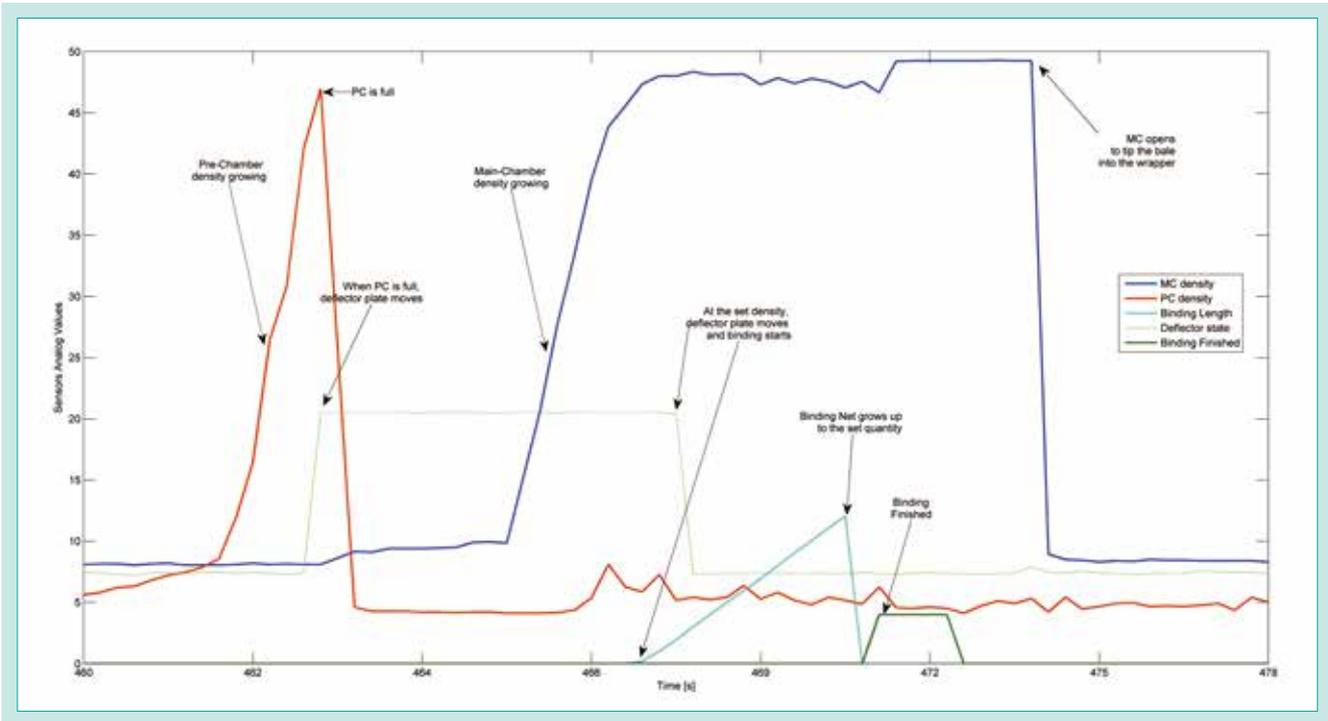


Fig. 6 Baling Cycle  
図6 ベーリングサイクル

### 4-3 Compact Baler

#### 4.3.1 Technical Challenge

The machine needs to be as compact as possible due the fact that it has to go on the road and it needs to easy access in the field crossing a small gate which is quite common in the markets located in the northern Europe.

#### 4.3.2 Solution of Challenge

In order to build a compact machine, we developed the idea to position the pre-chamber on top of the feeding rotor. The use of 'shared' rollers between the two chambers (Fig. 7)

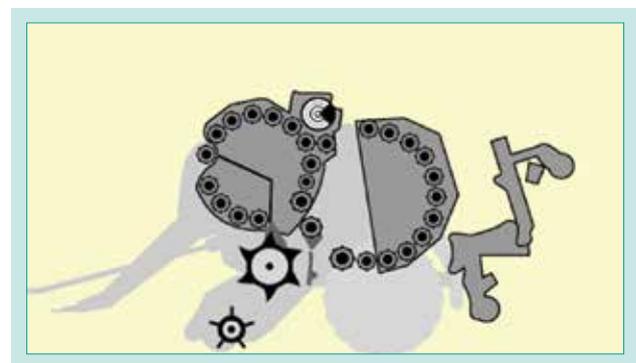


Fig. 7 Foldable Wrapper System for Road Transport  
図7 道路走行時に折りたたみ可能なラップシステム

contributes to the compact overall dimensions of FastBale; In order to keep the shortest width we patented an internal transmission in the pickup (Fig. 8) keeping a maximum width of 2.2 m; the vertical wrapping system has been studied to keep Short overall length with small rear overhang. Vertical folding wrapper frame gives super short transport length (Fig. 9).

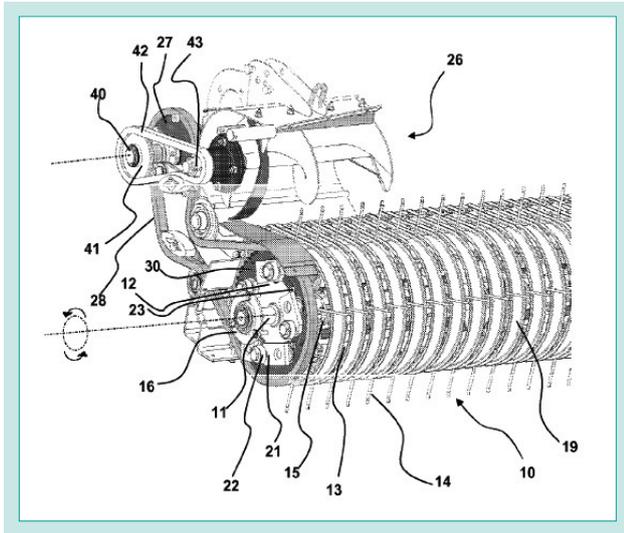


Fig. 8 Internal Transmission in the Pickup  
図 8 ピックアップ内部のトランスミッション

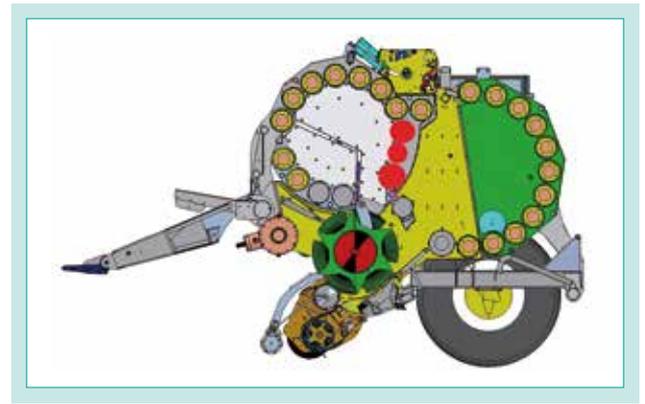


Fig. 9 Shared Rollers between Two Chambers  
図 9 2つのチャンバの間にあるシェアローラ

#### 4-4 Bales Unloading in Vertical Position

##### 4.4.1 Technical Challenge

In some cases the unloading of the bales in horizontal position doesn't suit the loader which has to load the bales into a truck; for some contractor is important

to unload the bales in vertical position in order to lift the bales with a Grab.

##### 4.4.2 Solution of Challenge

The technical solution which is answering the market request has been developed and tested during the last two seasons; a round bar is mounted on the bottom of the wrapper and is moving during the folding cycle of the back frame of the wrapper at the

end of the wrapping cycle; the bar is pushing the bale on the side and it is rotating it in vertical position; the kit called "Bale Turner" (Fig. 10) is not increasing the length and the width of the machine.



Fig. 10 Bales Turner  
図 10 ベール縦置き装置

## 5. Conclusion

FastBale is an innovative baler which can revolutionize the agricultural world:

- ▶Non-stop baling for reduced operator stress and fatigue;
- ▶less wear and tear on tractor transmission;
- ▶compact size, FastBale is smaller than other competitive baler wrappers, ensuring easy field access and stress free road transport;
- ▶simple bale transfer system and high speed vertical wrapping system ensure high output and gentle bale release;

- ▶fully automatic operation, with animated real time display, keeps the operator fully productive throughout long working days.

We expect to gain market share against strong competition; we plan to produce 70 machines in 2017 and 200 machines in full production from 2018.

Competitors' dealers are looking for alternatives and the FastBale is a product that should guarantee a reliable alternative with higher performances.

With FastBale we plan to reach in 2018 a 10% of market share in this segment.

---

### Reference

For more info please look at the project micro site  
[www.fastbale.com](http://www.fastbale.com)

# Development of Z700 Commercial Zero-Turn Mower

## Z700プロ向けゼロターンモアの開発

Turf Engineering Department of America

クボタはゼロターンモアを求める邸宅のある地所を有するお客様の満足を頂くためにいくつかの製品を生産している。これらの製品はゼロターンモアを使うプロのお客様にも魅力的である。しかし、一部のプロのお客様は完全には満足していない。機械の性能、エルゴノミクス、及びコストにはクボタがプロのお客様をより完全に満足させるための改善点がいくつかある。Z700は手動でのモアデッキの高さ調整システム、前輪荷重を軽減するための機械のレイアウト、操作しやすいパーキングブレーキなどの新技術を開発することで、プロユーザ市場のお客様にうまくアピールした。その結果、クボタはこの美しい地球の環境を気にしながら、人々の豊かな生活を支えるための力を向上させた。

### 【キーワード】

ゼロターンモア、居住性、駐車ブレーキ、モアデッキ高さ調整

Kubota produces some products to satisfy zero-turn-mower estate customers. These products also appeal to zero-turn-mower commercial customers. However, some commercial customers are not completely satisfied. Machine performance, ergonomics, and cost are several areas where improvements could allow Kubota to satisfy the commercial customer more completely. By developing new technologies such as a manually-adjusted deck height system, a machine layout to reduce front axle weight, and easy-to-operate parking brakes, the Z700 has successfully appealed to customers in the commercial market. As a result, Kubota has improved its ability to support the thriving life of humans while still caring for the environment of this beautiful earth.

### 【Key Word】

Zero Turn Mower, Ergonomics, Parking Brake, Mower Deck Height Adjustment

## 1. Introduction

### 1-1 Outline of the business

Since 2011, Kubota's Turf Engineering Department of America has been developing and designing new models to increase and improve Kubota's line up of turf care products. By designing and developing these new products in the United States of America, this

department has been able to significantly improve the working relationship with the manufacturing plant and sales division. This has allowed new models to be developed that are quicker to market with better customer-driven specifications.

Through intensive market surveys, it was determined that Kubota had a small market share of commercial zero turn rider (ZTR) mowers. Current Kubota offerings have many features that appealed to high-end and low-end consumer demographics. These features also appealed to some commercial customers. However, other commercial customers preferred a different level of performance and price. As a result, the Z700 Series was developed (Fig. 1).



Fig. 1 Z700 Series  
図1 Z700シリーズ

## 1-2 Issues to be solved

In order to be competitive in the commercial ZTR market, the mower must excel in three general areas: functional performance, ergonomics, and cost. This was determined by studying the current competitors in the market and the current ZTR products offered by Kubota.

Commercial users require a ZTR that can make quick, small changes to the mower deck height as the machine is operated so they can avoid scalping the grass (cutting the grass too short) in uneven terrain. If the grass is cut too short, it can become diseased or die. The machine must also have a low front axle weight to allow the machine to traverse side-slopes easily. Machines that offer these capabilities have the

functional performance required for this market.

A successful commercial market ZTR must also have excellent ergonomics to allow the operator to use the machine for long periods of time without becoming tired. Many competitive machines in this market suffer from poor ergonomics.

The commercial ZTR market also requires the total cost of ownership (machine price, maintenance costs, etc.) to be low.

After careful study of the current competitors and Kubota products, it was found that many of the machines do not offer a complete mix of features to satisfy all of these criteria.

## 2. Outline of the development

### 2-1 Development concept

The development concept for this project was to design and produce a machine that would provide

superior functional performance, great ergonomics, and low total cost of ownership.

### 2-2 Target Value

In order to achieve the development concept, several challenging targets were set:

1. Improve the usability of the machine compared with current Kubota products such that the Z700 is specifically suited for commercial users.
2. To improve machine performance, reduce the weight

of the machine as much as possible such that it is less than its main competitor.

3. Improve the ergonomics and comfort of the machine to be class-leading.
4. Reduce the total cost of the machine compared to its main competitors.

## 3. Technical challenges and their target qualities / values

The following design targets were set to achieve the development concept:

1. Design a manual deck height adjustment system with separate transport lock lever. The ergonomics and function of this system should be improved over competitors and current Kubota products.
2. Develop a machine with a low front axle weight that can still traverse uphill terrain.

3. Develop an adjustable mower deck height pedal to increase the ergonomic capabilities of the machine.
4. Design a parking brake system that can be operated with one foot in order to improve the ergonomics of the machine.
5. Achieve the above items while keeping a low total machine cost.

## 4. Details of the development

### 4-1 Deck Height Adjustment System

Detailed analysis of competitors and current Kubota products in regards to their deck height adjustment system presented many opportunities for improvement.

Most current Kubota products offer a hydraulic deck lift system. This system requires low input forces from the operator, and is ideal for homeowners, estate operators, and some commercial users. However, other commercial customers need to be able to ‘float’ the mower deck over uneven terrain (i.e., change the mower deck height quickly by small increments while the machine is moving). This makes a hydraulic system unsatisfactory for this segment of the market.

Other Kubota products, and competitors as well, offer a manual deck lift system, but most of these systems automatically capture the mower deck in the highest position (which is called the “transport” position) when the deck reaches that height.

This means that if the operator manually adjusts the mower deck too high during operation, the mower deck can lock in “transport” automatically, which means the operator must stop mowing so they can move a lever to lower the mower deck again.

For the Z700 project, a new manual deck lift system was developed with a “Transport Lock Lever” to allow the deck to “float” without catching in “transport”. This allows the operator to disable the lever’s function so that they can control the deck height freely without the lever capturing the deck in “transport” (see top boxes of Fig. 2 vs bottom boxes of Fig. 2).

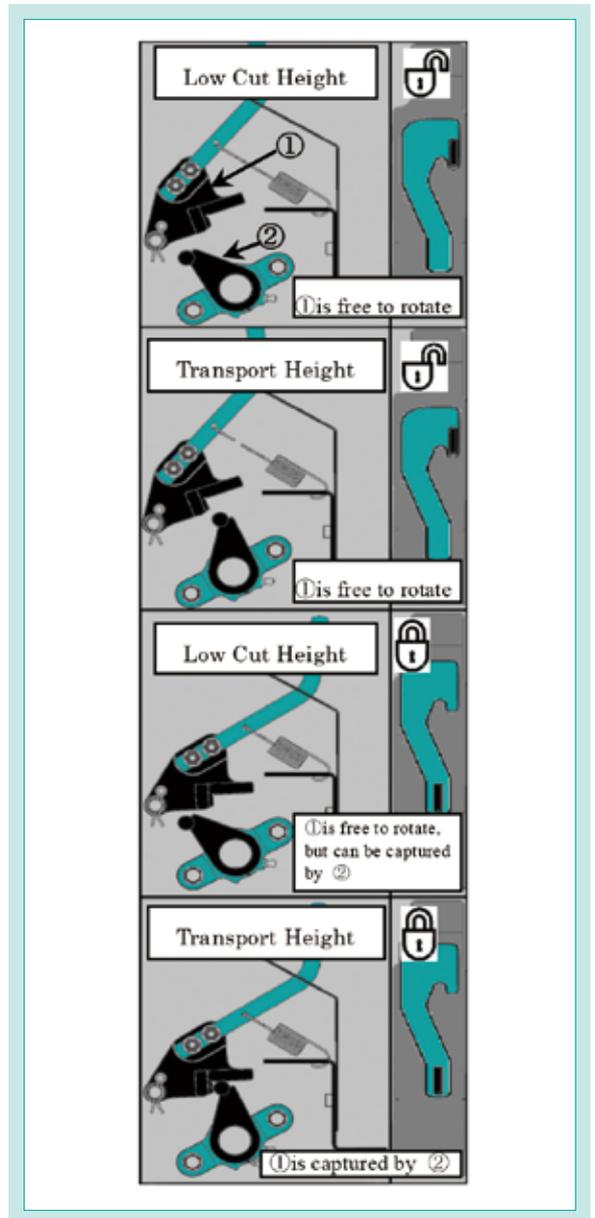


Fig. 2 Z700 Transport Lock Lever  
図2 Z700トランスポートロックレバー

### 4-2 Front Axle Weight

Current Kubota products and some competitors have a high front axle weight, which makes them difficult to operate on side-slopes because the front axles on a ZTR are free-moving and tend to go down the hill due to gravity. This high front axle weight is required to keep the machines stable on uphill slopes (stability on 25-degree uphill slope is required by safety regulations ; Fig. 3).

Many competitors and current Kubota products utilize fuel tanks that are located in the fender areas of the machine. This places the fuel high in the machine, raising the machine’s center of gravity (CG). This high CG means that weight must be added to the front axle of the machine to offset the high CG.



Fig. 3 ZTR Center of Gravity  
図3 ゼロターンモア車体重心位置

Other competitors and some Kubota products place the fuel tank under the seat, which lowers the machine CG. Kubota products go one step further and move the air space for the fuel tank to the fender area so that the seat (and operator weight) can be moved as low as possible in the machine (Fig. 4), directly above the fuel tank holding liquid fuel.

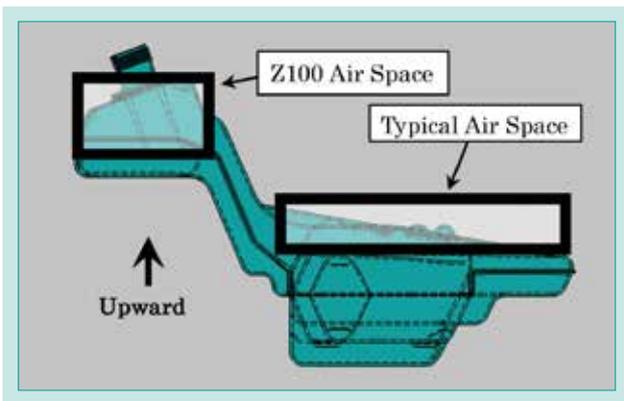


Fig. 4 Z100 Fuel System Air Space  
図4 Z100 燃料タンク空気層

The Z700 machine could not place the fuel tank air space in the fender area due to space constraints (mainly frame structure).

Therefore, a new layout was made that allowed

the airspace to move to the rear of the machine next to the engine (Fig. 5). This was accomplished by rotating the engine 90-degrees and placing the muffler on the left side of the engine. This created a large empty space to the right of the engine that could be occupied by the fuel tank (Fig. 6).

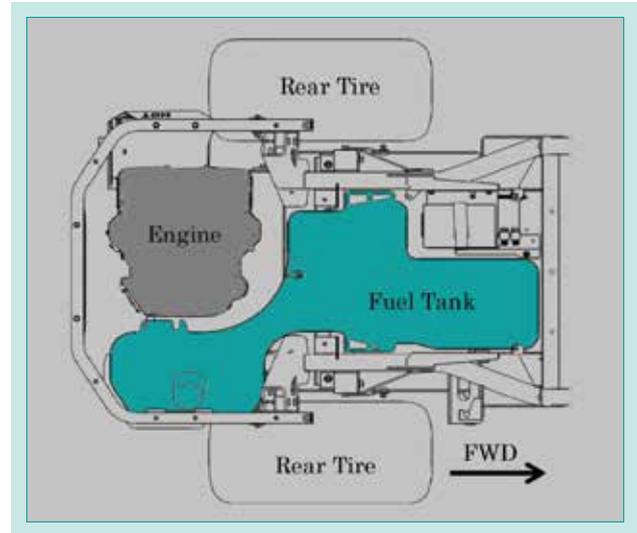


Fig. 5 Component Layout  
図5 主要部品レイアウト

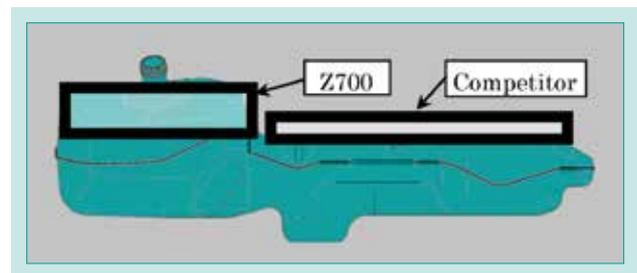


Fig. 6 Z700 Fuel System Air Space  
図6 Z700 燃料タンク空気層

This lowered the CG of the Z700 machine, and allowed the front axle weight to be reduced. As a result, the Z700 front axle weight is 4 kg less than one of its main competitors, and 15 kg less than the ZG200-series.

#### 4-3 Mower Deck Height Pedal

Developing a machine that can comfortably fit many body types is very challenging. Competitors often use a system of adjustable control levers and seat slides in an attempt to maximize the percentage of people that they can accommodate. This type of system typically allows the machine to comfortably seat 82.5 % of people (based on their height)<sup>1)</sup>.

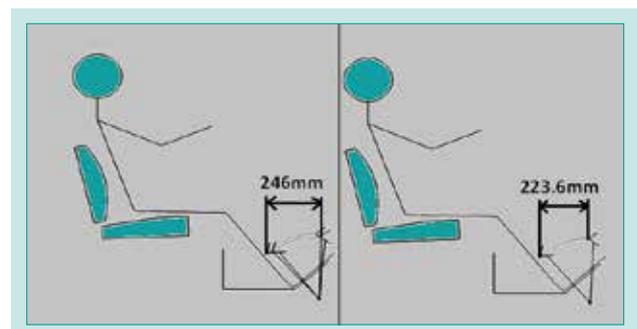


Fig. 7 Horizontal Stroke of Mower Lift Pedal  
図7 モアリフトペダル水平方向ストローク

The Z700 machine uses adjustable control lever and seat slides also, but also incorporates an adjustable mower deck height pedal (Fig. 7) to accommodate 90.1 % of people based on height (Fig. 8).

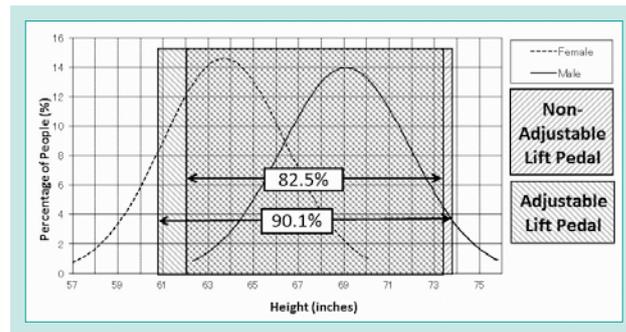


Fig. 8 Percentage of People vs Height  
 図8 身長による人口分布

#### 4-4 Parking Brake System

Competitor machines often use a parking brake system that is applied using the operator's hand. This lever (Fig. 9) is also usually located in a place that makes it very difficult to access unless the control levers are in the neutral position.

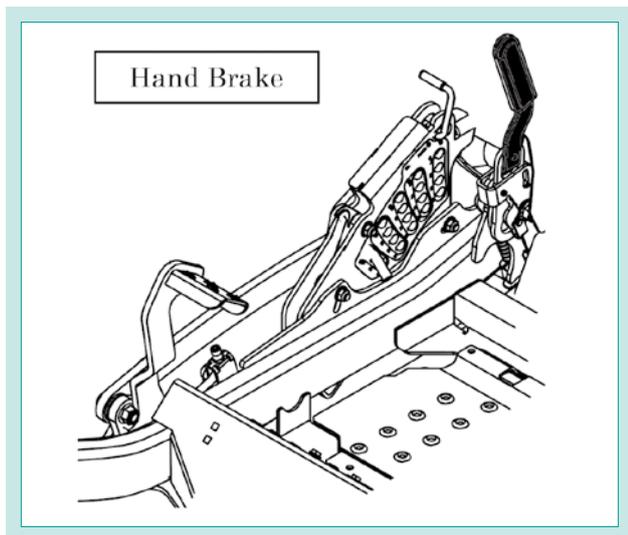


Fig. 9 Competitor Hand Parking Brake  
 図9 競合他社機 手動式駐車ブレーキ

This is an inefficient system as it requires the operator to use his hands to perform four actions in order to stop and park the machine:

1. Move control levers to neutral position.
2. Place control levers in neutral lock.
3. Lean forward to grab parking lever.
4. Pull up and backward to engage parking brake.

The Z700 machine uses a one-foot-operated parking brake system that allows the operator to stop the machine by only performing three actions:

1. Move control levers to neutral.
2. Place control levers in neutral lock.
3. Step on parking brake pedals to engage parking brake.

This system is not so dissimilar from current Kubota parking brake systems. However, those systems require two feet to operate because the lock

pedal and main brake pedal must move in different directions to achieve engagement. The Z700 brake system aligns the travel direction of the lock pedal with the travel direction of the main brake pedal, allowing the operator to activate both pedals with only one foot (Fig. 10).

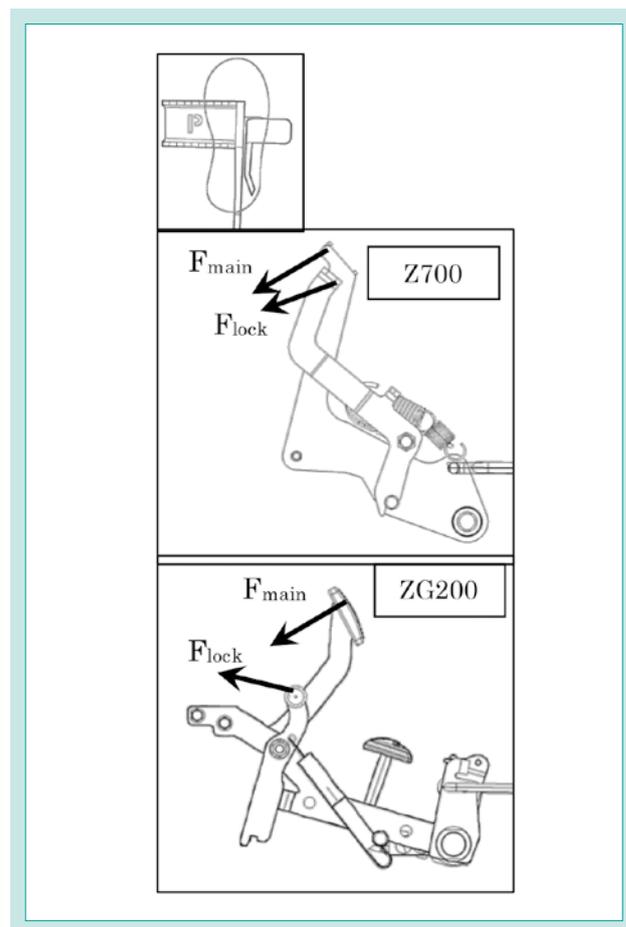


Fig. 10 Z700 and ZG200 Parking Brake Operation  
 図10 Z700シリーズ、ZG200シリーズ 駐車ブレーキ操作方法

## 4-5 Machine Cost

Competitor machines in the commercial ZTR market segment have been increasing in price year after year. This presents a great opportunity for Kubota to enter this market if the machine can offer improved

features without impacting the purchase price.

The Z700 project was able to develop and design the above improvements and still maintain a cost that is more than 10 % lower than its main competitor.

## 5. Conclusion

### 5-1 Evaluation of the achievement

The Z700 project was able to develop a machine with a complete mix of features to satisfy commercial customers, including superior ergonomics and great functional performance.

Impressive ergonomics were achieved due to the optimized locations and functions of the parking brake system and transport lock system. An adjustable mower deck height pedal also contributed to the superior ergonomics of the machine.

Outstanding functional performance was achieved by improving the functionality of the transport lock system. The locations of the fuel tank, engine, and muffler also contributed to improve the operating performance of the machine.

All of these features were designed without severely impacting the purchase price of the machine. In fact, the Z700 machine has a 10 % lower purchase price than its main competitor.

### 5-2 Contribution to the business

The Z700 project, due to its great design, achieved its first-year retail sales target. This accounted for Kubota's North American unit sales increasing by 8.5 % (Fig. 11).

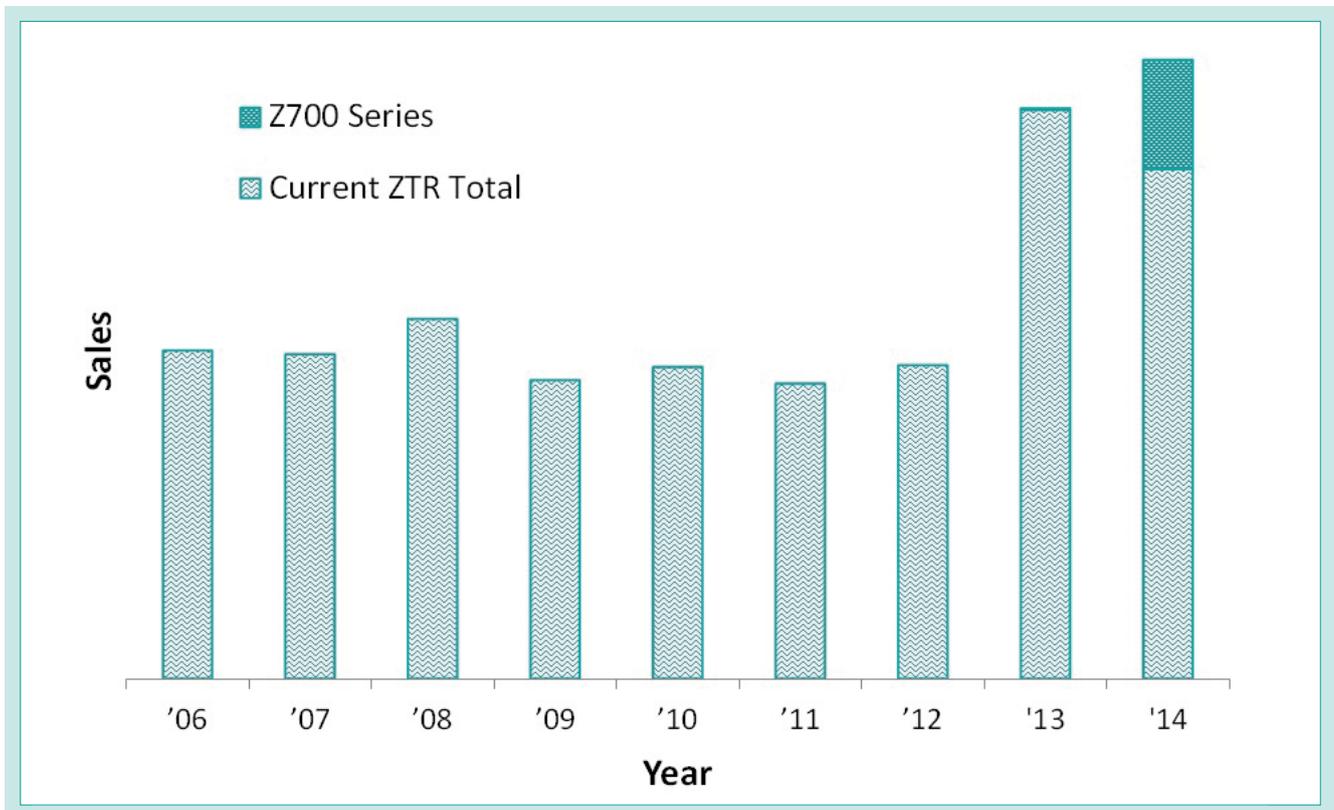


Fig. 11 Kubota ZTR Sales  
図 11 クボタ ゼロターンモア販売台数

## Reference

- 1) Robert Walden (2013) Development of ZG100 "Homeowner Zero-Turn Mower".

# 海外向け乗用田植機 SPV の開発

Development of Riding Type Rice Transplanter SPV for Overseas

移植機技術部

特集論文

7

海外向け乗用田植機SPVの開発

中国などの海外新興国では、急速な経済発展に伴う人件費の高騰により、稲作のための人件費も高騰し、人手の確保が困難になっており、稲作の機械化が進んでいる。海外新興国での田植機の使い方の特徴として、田植機の所有者は土地所有者から田植を委託され、植えた面積だけ対価をもらう“賃植え”が主流である。より多くの面積に植えるごとに、それに見合った対価を貰えることから、多くの面積に植えることができる機械、つまり、“儲かる機械”を求める声が強い。今回の開発は、このニーズに答え、「ユーザが儲かる、基本性能に特化したグローバル本格6、8条乗用田植機」をコンセプトに製品開発を行った。本稿では「ユーザが儲かる」に直結する、「高能率」「高耐久」「メンテナンス性」の3つの課題解決に向けた技術開発について紹介する。

【キーワード】

海外新興国、乗用田植機、高能率、高耐久、メンテナンス性

Rapid economic development in emerging countries is leading to escalating personnel costs (the costs for rice cultivation, too), and making it difficult to secure labor. Consequently, mechanization of rice cultivation in such countries (China and so on) is taking place. Rice transplanters in emerging countries tend to be used in the following way: the land owner entrusts rice planting to the owner of the rice transplanter, and the land owner pays a fee to the rice transplanter owner in proportion to the transplanted area. The larger the area planted, the more rewards the owner of the rice transplanter will receive. Based on this background, an ability to plant larger area, in other words a “profitable machine,” is required. To meet this demand, Kubota has developed new rice transplanters based on the concept of “global 6- and 8-row riding type rice transplanters which are able to produce a profit for user and have a basic performance.” In this paper, we explain the technical development we conducted to meet three requirements—high efficiency, high durability and ease of maintenance—which are directly related to profitability.

【Key Word】

Emerging Countries, Riding Type Rice Transplanter, High Efficiency, High Durability, Ease of Maintenance

## 1. はじめに

海外新興国では都市部の工業化を背景に、急速な経済発展が進み、人件費の高騰が進んでいる。また、同時に都市部への人口が集中し<sup>1)</sup>、農村部の人口不足が進んでいる<sup>2)</sup>。これらを背景に、今まで人手で行っていた農作業に代わって、機械が行うように変わりつつある<sup>3)</sup>(図1)。

これら海外新興国は日本市場とは異なる傾向が多くある。日本では土地所有者が田植機を購入し、自分の土地に植える場合が主流であったが、海外新興国では土地所有者が田植機の所有者に機械田植を委託し、植えた面積だけ対価を貰う“賃植え”の形態が主流である。このような形態を背景に、1日に可能な限り広大な面積に植えることができる“儲かる機械”が求められている。

しかし、海外新興国では田植の作業環境において日本とは異なる点が多くあり、“儲かる機械”とするために、解決しなければならぬ課題が多くあった。これらの課題に取り組み、海外新興国の市場に適合した、“儲かる機械”である、乗用田植機SPVシリーズを開発した。

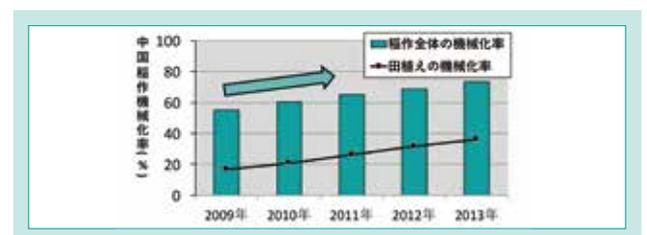


図1 中国の稲作機械化率<sup>3)</sup>

Fig. 1 Rate of Mechanization of Rice Cultivation<sup>3)</sup>

## 2. 開発のコンセプトと目標値

海外新興国でのニーズに適合した機械とするために、“ユーザが儲かる、基本性能に特化したグローバル本格6、8条乗用田植機”をコンセプトとした。これを実現するために、次の3項目に着目した。

### (1) 高能率

1日当たりどれだけの面積に植えられるかが最大のユーザメリットである。海外新興国の様々な圃場環境下でも高能率を維持して作業し続けられる機械とした。

### (2) 高耐久

田植機の故障が発生すると、田植作業を中断しなければ

ならず、植えられる面積の減少を引き起こす。逆に、故障することなく田植を続けることができる機械とすることで、高能率を維持できる。そのために、長時間の使用にも耐えられる頑丈な機械とした。

### (3) メンテナンス性

海外新興国では日本と比べ稲作地帯が広大であり、サービスマンが全田植機のメンテナンスをカバーするには限界がある。そのような地域でもユーザ自身で田植機のメンテナンスを容易に行うことができる構造とすることとした。

## 3. 解決すべき技術課題

### 3-1 高能率を実現するための課題

#### (1) 油温の低減

海外新興国では、長辺が1kmを越す大規模水田が存在する(図2上)。田植作業中に田植機に積載した苗がなくなった場合、水田の縁である畦に戻って苗の再積載を行わなければならない、それにより畦に戻る時間と苗再積載の時間が必要となる。これに必要な時間は大規模圃場であるほど多くなる。それを減らすため、ユーザは大量の苗を田植機に積載する(図2下)。また、海外新興国ではより広大な面積に植えるため、オペレータと別に2~3人が田植機に乗り、苗補給を行うことが多い。大量の苗の積載と3~4人が田植機に乗ることにより、結果として田植機の車体重量(600~800kg)以上が積載されることもあり、非常に大きな負荷となる。一方、田植機は変速機構としてHST(静油圧式無段変速機)を採用しており、油圧の力で変速を行なっている。HSTに大きな負荷が加わることにより、作動油の温度が上昇する。これにより、作動油の粘性低下を引き起こし、動力伝達を担う作動油の一部が漏れ出すことでロスが発生し、HSTの動力変換効率が低下してしまう。特に、大規模水田のような高負荷を長時間加えるような条件で、更に気温が35℃を超えるような作業環境の場合、HSTの動力変換効率の低下が顕著に現れ、結果として、植付け作業の能率低下を引き起こす。

#### (2) 深田からの脱出

海外新興国の水田では、水田内の泥の深さが均衡になっておらず、所々、底の深い箇所(深田)が存在する。このような水田で田植作業を行うと、田植機が深田にはまってしまい、自力で脱出できなくなることがある。その場合、トラクタ等と牽引ワイヤで繋げ、引っ張り上げる必要がある(図3)、それにより長時

間田植作業が止まることにより作業能率の低下を引き起こすことがあった。



図2 海外新興国の大規模水田と田植作業風景  
Fig. 2 Large-scale Paddy and Rice Transplanting in Emerging Countries



図3 深い水田(深田)にはまった田植機の脱出  
Fig. 3 Rice Transplanter Escaping from Deep Paddy

### 3-2 高耐久を実現させるための課題

特に、タイ、インドなどの熱帯地域では、三期作が主流で、1年中田植作業を行なっている。そのため、年間使用時間は日本で一般的な使用時間の10倍以上となる。し

たがって、このような長時間の使用により故障が発生しやすくなり、より高耐久な田植機が求められている。

### 3-3 メンテナンス性の課題

メンテナンス不足による故障の防止や、消耗品の交換を容易にすることで、田植作業が中断することを最小限に抑えることができる。特に、サービスが行き届きにくい広

大な稲作地域ではユーザ自身でメンテナンス可能なことが重要となる。

## 4. 開発技術

### 4-1 高能率実現のための技術開発

#### 4.1.1 HST作動油の油温低減技術

従来機のHST作動油はHSTとミッションケースの間に循環している。この構造の場合、高温、高負荷の大規模水田での田植作業では、冷却表面積が少なく、油温が上昇しやすい場合があった。油温上昇を抑えるため、冷却表面積を増やそうと、専用のオイルタンクやオイルクーラの採用を検討したが、スペース確保が困難なこと、コストアップ、重量アップが発生してしまうことが課題として挙げた。これに対して、開発機ではHSTとミッションケースの間に従来から存在する後車軸ケースを油圧回路の一部とすることにより(図4)、冷却表面積を増やした。これにより、高負荷田植作業時にHSTで暖められた作動油は後車軸ケースを経て循環する間に放熱し、再度HSTに戻るときには低温となる(図5)。これにより、HSTの動力変換効率が落ちなくなり、高温・高負荷作業でも作業能率が低下せずに田植作業を続けることができるようになった。

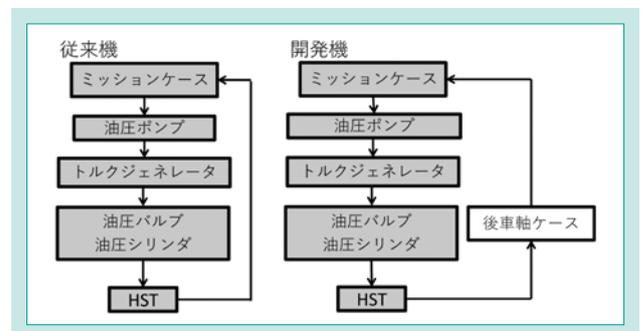


図4 HST 作動油の循環経路変更

Fig. 4 Change of HST Hydraulic Oil Circulation

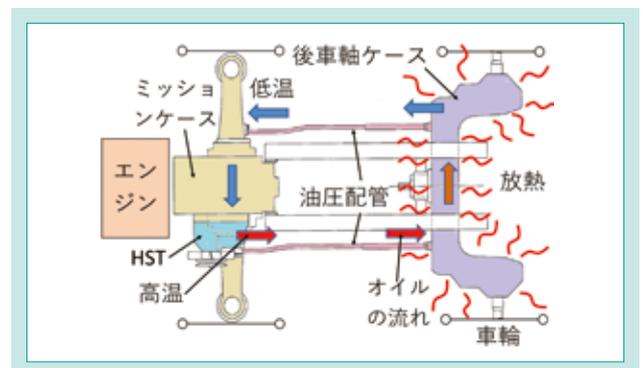


図5 後車軸ケースからの放熱による油温低減

Fig. 5 Reduction of Oil Temperature by Promoting Heat Dissipation from Rear Axle Case

#### 4.1.2 深田脱出用、副変速レバーの追加

深田にはまった場合に、トラクタ等で引っ張らずとも、自力で脱出できるような機能を追加することを検討した。開発機ではHST出力軸に、レバー操作でHigh-Lowの切替え可能なピニオンギアを追加した(図6)。これにより、通常時はHighのレバー位置で田植作業を行い、深田にはまった場合には、Lowに切替えて、車速を落とすことで、車軸トルクを増加させ、深田から自力で脱出できるようにした。これにより、田植機が深田にはまっても、レバーを切替えるだけで、その場ですぐに自力脱出可能となり、田植作業ロスを低減することができた。

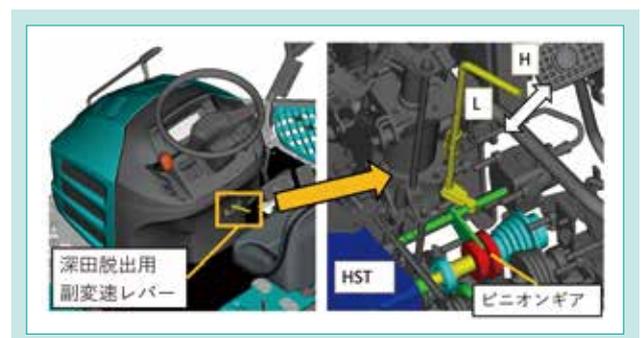


図6 深田脱出用副変速レバー

Fig. 6 Sub-shift Lever for the Purpose of Escaping from Deep Paddy

## 4-2 高耐久実現のための技術開発

本機後ろ側に搭載された、苗を植えるユニットを田植機の植付け部という。田植機による田植は、苗載台にセットされた苗が横送りと呼ばれる左右往復運動をしながら、植付け爪により苗を掻き取り、圃場に植えていく(図7)。植付け部は構造が複雑な上、常に泥水面に接した状態で作業し続けるため、海外新興国のような過酷な使用条件では耐久性の面で課題があった。この植付け部の耐久性向上について紹介する。

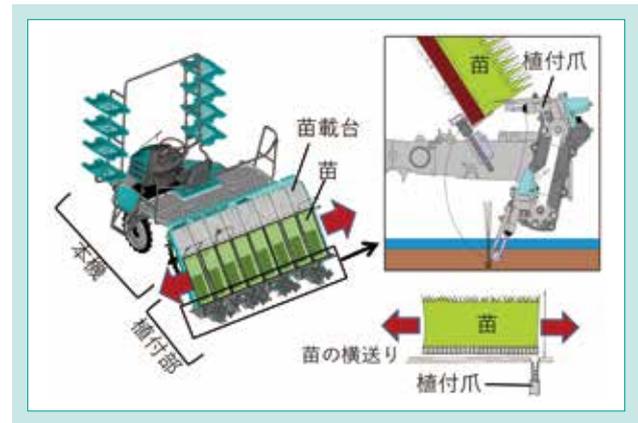


図7 田植機植付け部の概要  
Fig. 7 Overview of Transplanting Unit

### 4.2.1 苗載台ローラ式横送り支持構造

苗の横送りとは田植作業時に苗載台に苗をセットし、横に送りながら植付け爪で苗を掻き取る動作である。従来、この横送りの支持構造は滑りによるスライダ式(樹脂製)であった。この場合、水田で植付け作業を行うと、摺動面に泥が付着することで摺動抵抗が増大してスライダ式の支持部が摩耗し、頻繁にスライダの交換が必要となる。また、摺動抵抗増大により横送り駆動部への負荷が増大

し、耐久面で課題があった。

これに対し、開発機ではスライダ式横送り支持構造を廃止し、転がりによるローラ式の支持構造を考案した(図8)。スライダ式と異なり、転がりでは滑りがなく、摩耗が発生しなくなり、長期間メンテナンスフリーで横送りできるようになった。更に、横送り荷重を軽減できるため、横送り駆動部への負荷を軽減でき、耐久性を向上することができた。

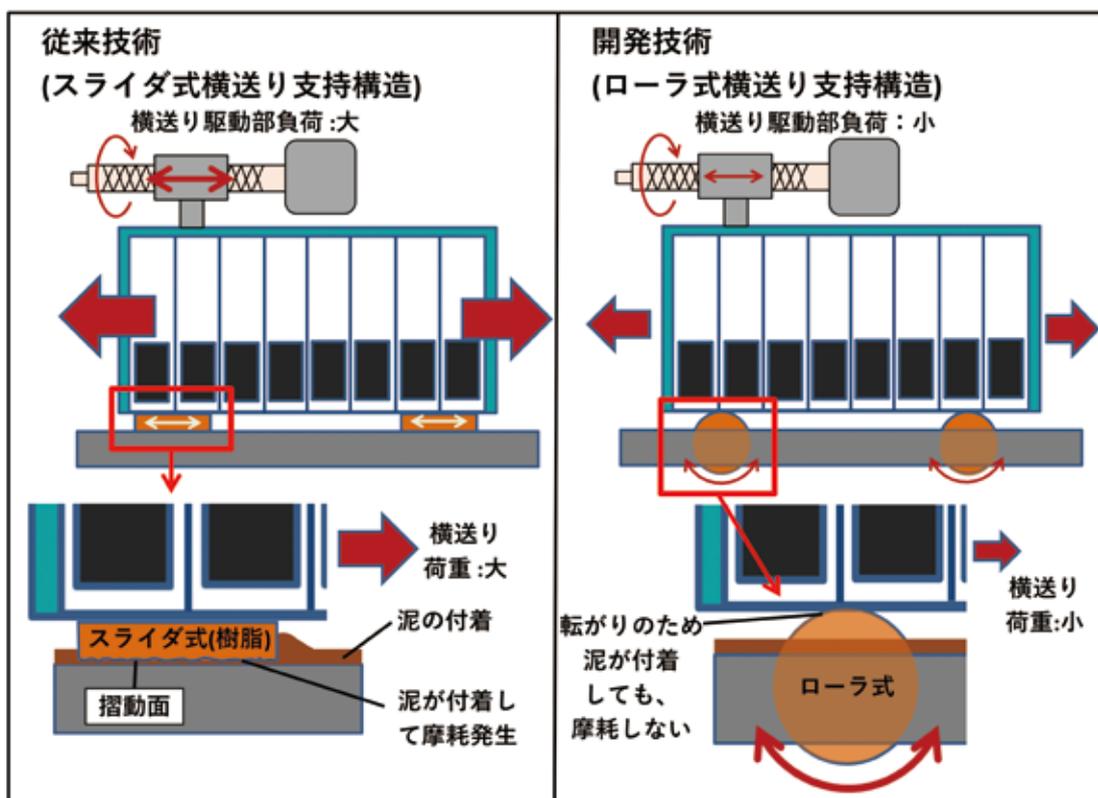


図8 ローラ式横送り支持構造  
Fig. 8 Roller Type Seeding Table with Cross-feeding Supporting Structure

#### 4.2.2 植付け爪の耐久性向上

植付け爪は苗を掻き取って地面に植える重要な部品である。しかし、泥の中で高速作動するという特に過酷な環境で使用されるため、泥が内部に浸入し故障しやすく、耐久性向上が求められていた。しかし、故障品を調査しても植付け爪内部は泥だらけになっており、どの部分から泥が浸入したのか不明であった。

これを明らかにするために、ユーザが使用中の故障していない植付け爪を調査すれば、故障の前兆が確認できると予測し、中国の様々な地域のユーザから破損していない植付け爪を回収し、分解調査を行った。中国北部の黒竜江省や遼寧省は粘土質の土が特徴的で、一度植付け爪に泥が付着すると落ちにくい性質がある。一方、中国東部・南部の江蘇省、浙江省、海南島などでは2期作、3期作が主流で、作物を刈り取った直後にまた田植を行う。これにより、圃場に藁が多く残り、植付け爪に藁が巻き込むことで、泥浸入を止めるオイルシールを摩耗させ、早期に故障することが考えられる。これらの地域でユーザが使用している植付け爪を調査し、傾向を分析することにより以下の結果が得られた。

- ・植付け爪のカムシャフト側からの泥浸入が発生し、これを起点として破損に至ることが確認された(図9左中)。
- ・藁の有無による泥浸入への影響は少ないが、土質による泥浸入への影響が確認できた。特に、粘土質地域では高い頻度でカムシャフト側から内部への泥浸入が確認できた。

泥の中で過酷な使用条件により、カムシャフト側のナットの僅かな隙間から泥が浸入し、オイルシールのサイドリップ内側に泥が堆積している様子が確認できた(図9右)。粘土質の泥ならば、一度内部に堆積すると再び外に出にくく、オイルシールの寿命を短くし、結果として植付け爪内部に泥が浸入していることが分かった。

これに対し、カムシャフト側からの泥浸入を抑えるため、以下の技術対応を行った(図10)。

- ①カバー形状変更によりナット隙間からの泥浸入防止
- ②カムシャフトを両持ち構造に変更し、振れを低減

この変更により、カムシャフト側からの泥浸入を大幅に抑えることができ(図11)、過酷な使用条件である海外新興国でも耐えられる植付け爪を開発することができた。

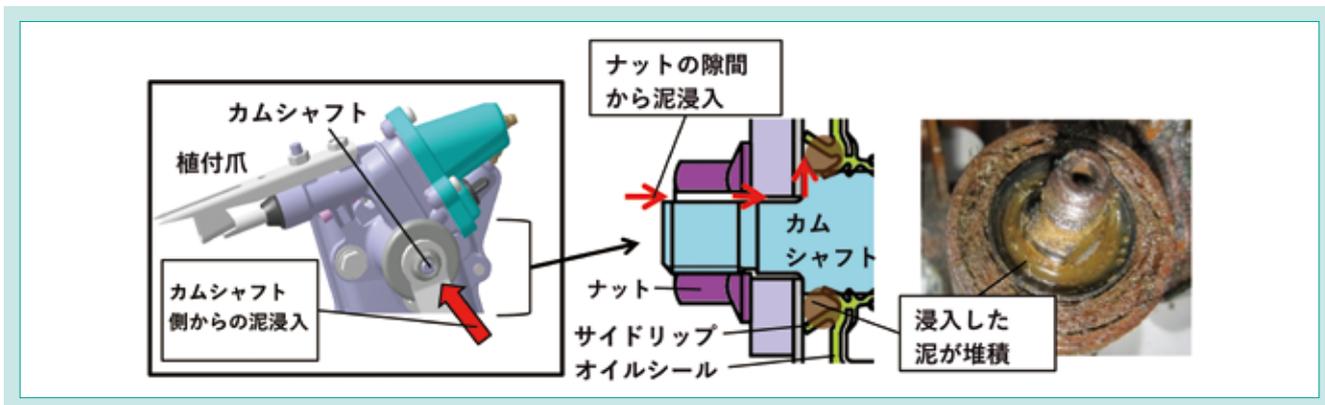


図9 従来の植付け爪の課題  
Fig. 9 Problem of Conventional Planting Claw

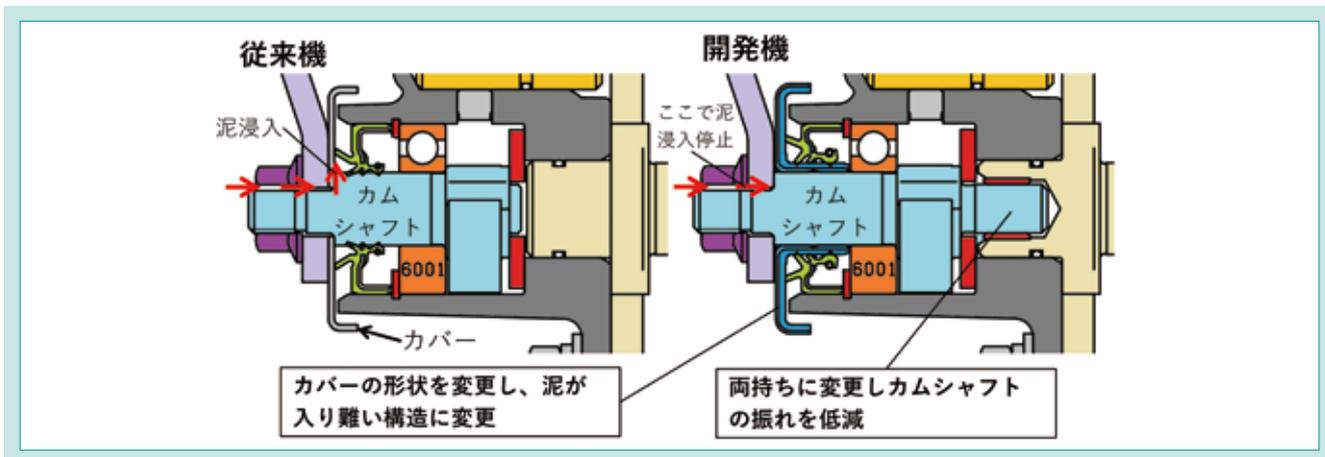


図10 植付け爪泥浸入防止策  
Fig. 10 Planting Claw that Keeps out Mud

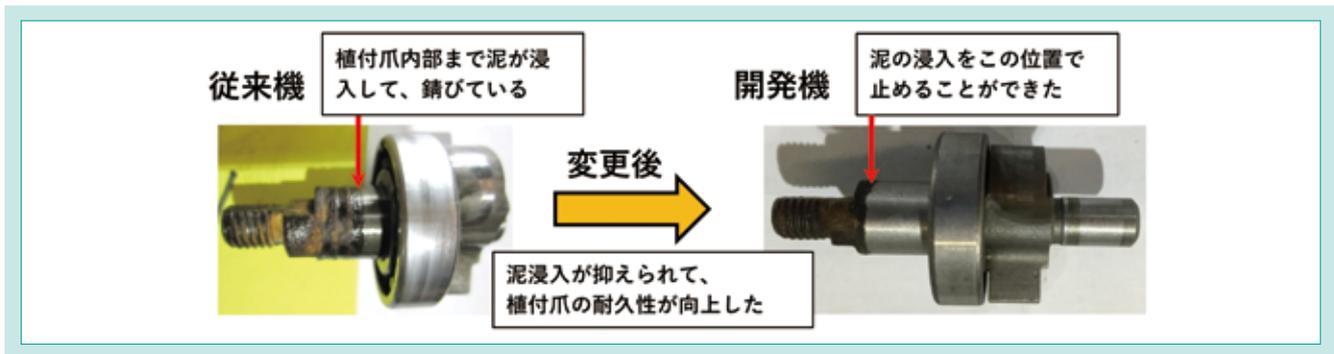


図 11 植付け爪改善結果  
Fig. 11 Effect of Planting Claw Improvement

#### 4-3 メンテナンス性向上のための技術開発

従来、田植機でのメンテナンス頻度が高い、リレー、ヒューズ、バッテリー、油圧バルブ、燃料フィルタはバラバラの位置に配置されており、一部は外装部品を外さなければ、メンテナンスが行えなかった。これに対し、開発機では、これらをシートの下に集中配置して、ユーザでも容易にアクセスできるようなレイアウトに変更した(図12)。

そのほかにも、ケースを分解せずにオイルシールが交換可能な構造に変更することや、日頃のメンテナンスが行い易いグリースニップルの追加、標準部品・消耗部品を付属部品に入れて出荷するなどを行い、メンテナンス性を向上することができた。



図 12 シート下集中メンテナンス  
Fig. 12 Central Maintenance Structure Beneath Seat

#### 5. おわりに

海外新興国のニーズに適合した、「ユーザが儲かる、基本性能に特化したグローバル本格6、8条乗用田植機」をコンセプトに「高能率」、「高耐久」、「メンテナンス性」に重点を置いて製品開発を行った(図13)。

中国にて販売を開始し、シーズン稼働調査では、ユーザから高評価を頂くことができた。今後、開発機を様々な国に展開していく。



図 13 開発した SPV シリーズ  
Fig. 13 Developed SPV Series

#### 参考文献

- 1) 中国経済ネット：国家統計局：2014年に中国都市化率は54.77%に達する、(2015)  
[http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201501/20/t20150120\\_4386891.shtml](http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201501/20/t20150120_4386891.shtml)
- 2) 中国社会科学ネット：中国都市化による人口の特徴と問題、(2014)  
[http://www.cssn.cn/shx/201404/t20140421\\_1077330.shtml](http://www.cssn.cn/shx/201404/t20140421_1077330.shtml)
- 3) 中国産業情報：2015年、我が国の農業機械業界の現状と発展傾向の分析(図)、(2015)  
<http://www.chyxx.com/industry/201507/329067.html>

# グローバルに展開する水環境インフラIoTソリューションシステム KSIS (Kubota Smart Infrastructure System)

IoT Solution System of Water Environment Infrastructure Facilities: KSIS

水・環境総合研究所 水・環境開発第二部／  
ポンププラント部／計測制御技術センター

今日、水環境インフラ施設の運用・維持管理において、省エネ、省コスト、業務効率化、設備の長寿命化が求められるようになり、IoT(Internet of Things)技術はクボタにとって顧客ニーズの実現に必要となっているが、これまでクボタではポンプのインターネット監視システム<sup>1)</sup>や、液中膜の遠隔監視などのサービスを10年以上に渡って行ってきた。IoTを用いたシステムの要望が水・環境や電装、各事業部の多くの顧客から寄せられるようになり、これら事業部を横断したプロジェクトを立ち上げ、遠隔監視・診断の共通プラットフォームKSISを構築した。KSISは、クボタの製品をIoTでつなぎ、多くの顧客へ様々なソリューションを提供する。

本報では、無線やインターネットなどの通信技術、クラウドサーバのセキュリティ技術などの研究開発を通して、通信端末装置、サーバの製品開発とこれらをつなぐネットワークの確立、グローバル展開について報告する。

## 【キーワード】

通信、無線、遠隔監視、クラウド、IoT、セキュリティ



## 1. はじめに

今日の社会情勢の変化に伴い、水環境事業の国内の主要な顧客である地方自治体では下記の課題が顕在化している。

- ・施設の老朽化と更新
- ・財政の減少と職員の不足
- ・大規模災害と危機管理

特に中小自治体においては、職員数の減少に伴って、日々の業務に追われ上記解決に苦慮する自治体も少なくない。

一方、海外へ水・環境プラントを展開する場合、納入後の運

Nowadays, with regard to operation and maintenance of water environment infrastructure facilities, energy saving, cost saving, improvement in work efficiency, and longevity of facilities are required, and IoT (Internet of Things) technology is necessary for Kubota to meet the needs of its customers. Kubota has provided services such as the remote pump monitoring system<sup>1)</sup> and the remote liquid membrane monitoring system through Internet for over 10 years.

The demand for IoT system is increasing from a number of our customers of our business unit divisions of Water & Environment and Electronics. We launched a cross-sectional project and created KSIS, a common platform for the remote monitoring and diagnosis. KSIS connects the products of Kubota with IoT to provide a variety of solutions to many customers.

In this paper, we describe the development of products such as data transmission equipment, the cloud server and the establishment of a network for them through the R&D on technologies for the wireless communication and the security for the cloud server. We also report on our efforts to expand them to the global market.

## 【Key Word】

Telecommunication, Wireless Communication, Remote Monitoring, Cloud Service, IoT, Security

転、保守サービス体制の確立が必要となるが、現地の熟練技術者の不足により実現が困難である。

そこで、通信・AI(Artificial Intelligence)技術とクボタのこれまで培ってきた機械ノウハウなどのアプリケーション技術を融合させ、IoTによる見える化や診断を通して国内外のお客様の様々な課題解決とサービスの向上を図るため、多くの製品、サービスで利用可能な共通プラットフォームの確立を目指している。

総務省の「H28年度情報通信白書」<sup>2)</sup>によると、世界のインターネットに接続されたIoT(Internet of Things)デバイスは図1のとおり、2016年で175億個と推定されている。家庭などで利用される家電製品、AV機器、スポーツ・フィットネス用品などコンシューマ製品及びスマートフォンなどの通信機器の比率が高いが、産業用途での利用が既に多く成長率も高いことが図2に示されている。例えば工場の生産設備でみるとPLC(Programmable Logic Controller)やそれに接続される多くの

センサ類がIoTデバイスとして監視制御のためにネットワークに接続され情報収集を行っている。

クボタでは2016年6月にNTTグループと「農業・水・環境インフラ分野におけるICTイノベーション創出に向けた連携協定」を締結した。これによって機械とともに水環境インフラソリューションの更なる高度化を通じた快適な生活環境の創造を国内外で実現することを目指している。

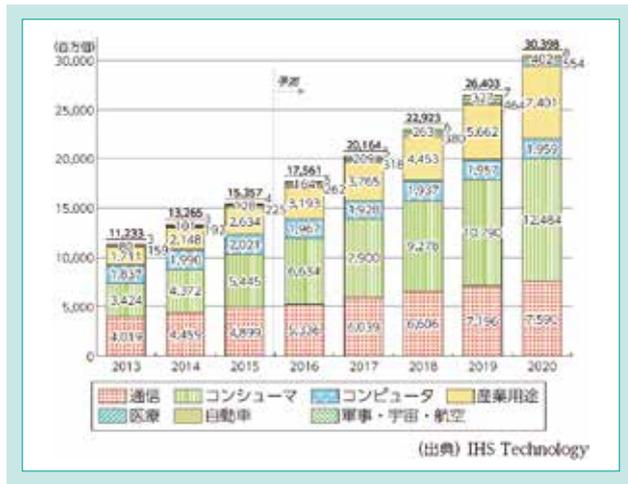


図1 インターネットにつながるもの(IoTデバイス)の推移<sup>2)</sup>  
Fig. 1 Trends of IoT Devices Connected to Internet

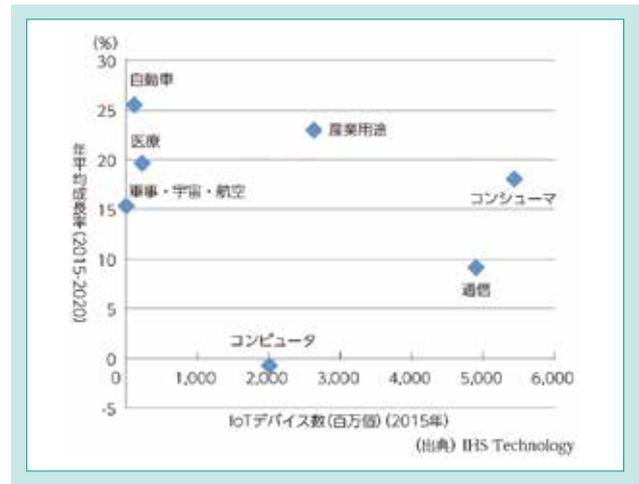


図2 分野・産業別のIoTデバイス数及び成長性<sup>2)</sup>  
Fig. 2 Number and Growth Potential of IoT Devices in Different Fields and Industries

## 2. 開発のコンセプトと目標

### 2-1 開発のコンセプト

上下水道、河川、農水など様々なフィールドで活用可能な共通プラットフォームの開発コンセプトを次のとおりとした。

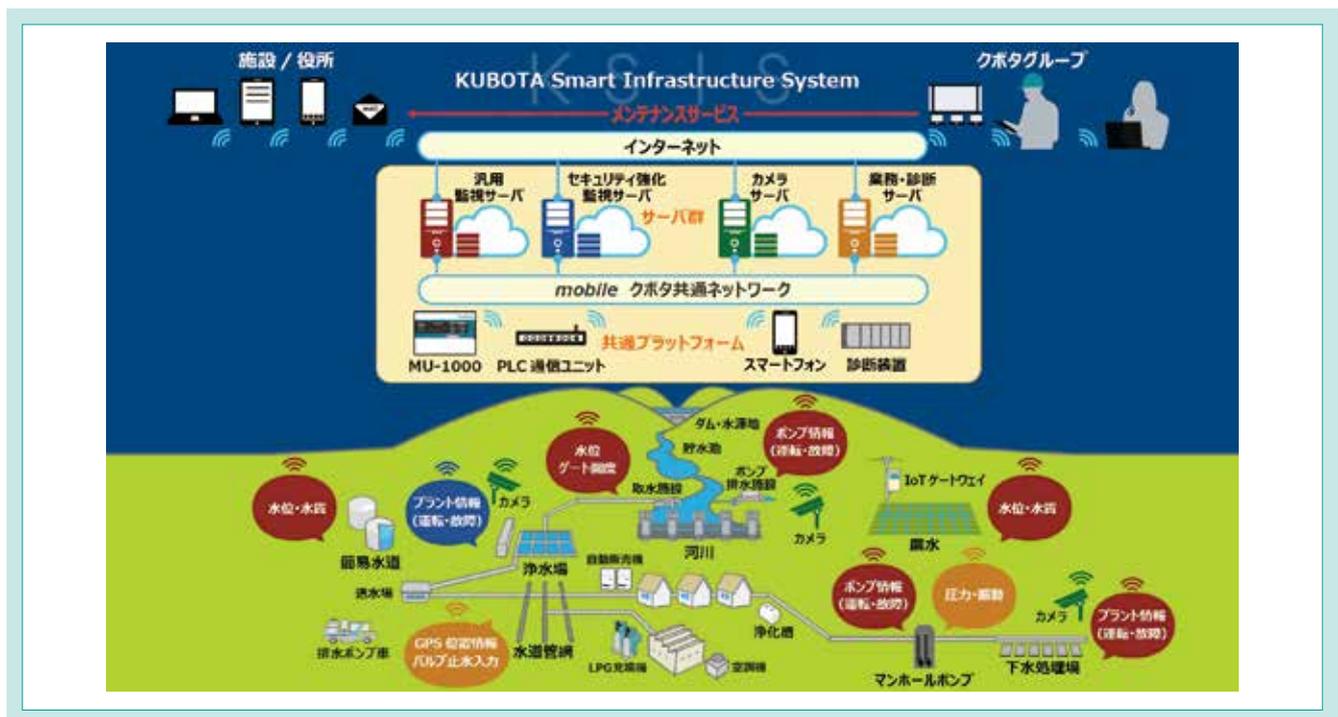


図3 KSIの概要図  
Fig. 3 Schematic Diagram of KSI

- ・機械単体製品、機械プラント製品の納入後も運転、維持管理に役立つ、システム、サービスの提供
- ・機械メーカーとしてのクボタ独自のノウハウを組み入れた遠隔監視・診断の提供

- ・災害に強くセキュリティの確保されたノンストップシステム
- ・事業部、グループを横断した国内外のシナジー効果の向上と海外事業展開の促進

## 2 - 2 KSIS の概要

上記のコンセプトを実現するため、共通プラットフォームとして開発したKSISは下記により構成される。

### 2.2.1 設備側の通信端末

プラント向けとして、施設の情報を収集する通信装置としてクボタMU-1000<sup>①</sup>やPLC通信端末を提供しており、機器や中小プラントにはMU-1000、点数の多い大規模プラントにはPLC通信ユニットを用いる。表1にこれら仕様をまとめる。

表 1 通信端末の仕様

Table 1 Specification of Communication Terminals

	MU-1000	PLC通信ユニット
デジタル入力Di	20点(※220点)	2000点程度
アナログ入力Ai	4点(※84点)	200点程度
デジタル出力Do	4点(※44点)	100点程度
外形寸法	W260×H180×D90	-
電源	AC100 V、AC200 V、AC220 V	ACアダプタ
消費電力	15 W	-
停電補償時間	3時間	なし外部UPS
外部メモリ	CFカード	-
オプション品	※拡張ユニット	-
監視用途例	浄水場、処理場等大規模施設から排水池、マンホールポンプ等小規模施設まで	大規模施設

### 2.2.2 サーバの構成

図3に示すように4種類のサーバから構成される。サーバは耐震性に優れ、バックアップ電源も備えたデータセンタに設置し、信頼性を確保している。

#### (1) 汎用監視サーバ

2003年に運用開始し、主に下水道などの遠隔監視をしてきたサーバ。サーバを二拠点に設置することで、大震災等災害に強くしている。

#### (2) セキュリティ強化監視サーバ

1分毎に自動でリアルタイムに情報を更新する遠隔監視サーバ。ログインにワンタイムパスワードを用いるなどセキュリティ性も高めている。

#### (3) カメラサーバ

1分毎にカメラ映像を更新するカメラサーバ。設置に光ファイバなどの敷設が不要なFOMA<sup>®</sup>回線を利用した映像監視。マルチ画面表示、録画機能を装備する。

#### (4) 業務・診断サーバ

施工監理などの業務系システムやAIを用いた設備診断などを搭載するサーバ。

これらサーバの利用料は、顧客が利用しやすい価格設定としており、例えば、汎用監視サーバの利用料は通信費込みで月額900円からとしている。

## 3. 解決すべき技術課題

既存のMU-1000をベースに、多岐にわたる水・環境及び電装の製品、サービスに対して、適応用途の拡大と海外展開を図るために、下記に掲げる開発課題があった。

### (1) 通信端末のグローバル対応

水・環境分野でのクラウド監視においてはこれまで国内の下水道を中心に展開してきたが、上水道、農水、河川、環境など様々な用途への展開と機械、プラントの輸出に伴い海外で利用可能な通信端末が求められる。

### (2) 国内通信との互換性維持

グローバル対応についても様々な通信キャリアがあり、

国々に応じて異なったキャリアが存在する。現在の国内通信網との共通性を維持しながら海外通信回線を選定し、システムを構築する必要がある。

### (3) グローバルネットワークの構築

国内の施設はFOMA<sup>®</sup>を利用したシステムでクラウドサービスを実現してきたが、海外で利用可能なネットワークの構築が必要になる。

### (4) 強固なセキュリティの確保

国内外の様々なユーザーに提供するため、強固なセキュリティの確保が必要になる。

## 4. 開発技術

### 4-1 グローバル通信技術の確立

海外で無線通信を行うには、多くの国では使用する無線装置の認証を取得する必要がある。MU-1000に認証取得済みの無線装置を接続することで海外に対応する(図4)。

通信インフラは海外キャリアを利用するが、海外キャリアと提携しているNTTグループが対応するSIMを採用し、国内のサーバとセキュアなEnd to End通信を実現する。

また、図5に示すように世界的には4 Gより、2 G/3 Gが主流であり、国内においても山間部などで3 Gのみサービスされているところが多く、データ通信速度も問題ないため、3 Gでの通信を採用している。



図4 MU-1000と海外対応無線装置

Fig. 4 MU-1000 and Wireless Device Compatible with Overseas Use



図5 世界における方式別移動体通信の契約数推移<sup>3)</sup>

Fig. 5 Number of Contracts by the Mobile Communication in the World

### 4-2 グローバルネットワークの確立

海外での通信インフラの整備状況は国々で大きく異なる。また、通信キャリアも国ごとによって異なる。NTTグループではNTTdocomoとNTTコミュニケーションズが各国の通信キャリアと提携し、グローバル化を進めているが、国によっては適応状況が異なる。そのため、双方のグローバル回線を採用したネットワークを構築した(図6)。

これらの回線設備は既に国内向けに整備してきたものを海外に拡張することで利用可能となった。

通信端末MU-1000はその国々のモバイル回線を経由してサーバと通信する。提携先の現地キャリアからNTTdocomoではAccess Premium、NTTコミュニケーションズではArcstar Universal Oneを経て、サーバにデータが収集される。この間は外部から進入不可能な閉域網となっており、また、MU-1000は独自の通信コマンドを持ったプロトコルで通信しているため、情報漏洩を防止する。一方、サーバから情報を公開するインターネット側にはファイアウォール機能等を備えた統合監視装置を設置した。



図6 データ収集ネットワークのグローバル化

Fig. 6 Globalization of the Data Collection Networks

### 4-3 ミャンマーでの通信試験

ミャンマーのティラワ経済特区の上水処理施設、下水処理施設や日系企業の工場用配水設備などを施工しており、これら施設を24時間遠隔監視するために、まずは通信状況の確認試験を行った。ミャンマーでは近年、急速に携

帯電話が普及しており、通信環境も整備されている。ティラワ経済特区の通信状況を調査すると、一部電波の弱い箇所があるものの、遠隔監視が可能であることを確認した。



図7 ミャンマー・ティラワ経済特区地図  
Fig. 7 Myanmar Thilawa Map



図8 試験装置と試験画面  
Fig. 8 Test Equipment and Test Display

### 4-4 強固なセキュリティの確立

上水道ではセキュリティを高める要求があり、特に遠隔操作を行う場合は、従来のIDとパスワードによるログイン方式では定期的なパスワードの変更が強く求められるが、それほど頻繁にパスワードの変更がなされていないのが実状である。そこで、今回は登録したメールアドレスを入力

し、そのメールアドレスにワンタイムパスワードを都度メールで送信することで、成りすましによるログインを防ぐ。

先に述べたネットワークのセキュリティ確保、汎用監視サーバ、セキュリティ強化監視サーバにおけるデータセンタの二拠点化などと併せて、セキュリティの向上を図った。

## 4-5 セキュリティ監視画面の機能強化

セキュリティ強化サーバはこれまでの汎用監視サーバから下記の機能強化を図った。

### 4.5.1 広域監視画面による全体のみえる化

汎用監視サーバは広域地図上で故障の有無の表示にとどまっていた。水道施設では配水系統の多数の水位、流量などを監視する必要があり、その水位状況を広域地図で一覧表示するとともに、広域トレンドグラフによって施設

間の相関を認識でき操作性が高まった。

### 4.5.2 ヒューマンインターフェースの向上

セキュリティ強化監視サーバは利用者が直感で操作が可能なヒューマンインターフェースを考慮した画面デザインを採用した。わかりやすいグラフィックを採用するなど、視認性と操作性を重視した。

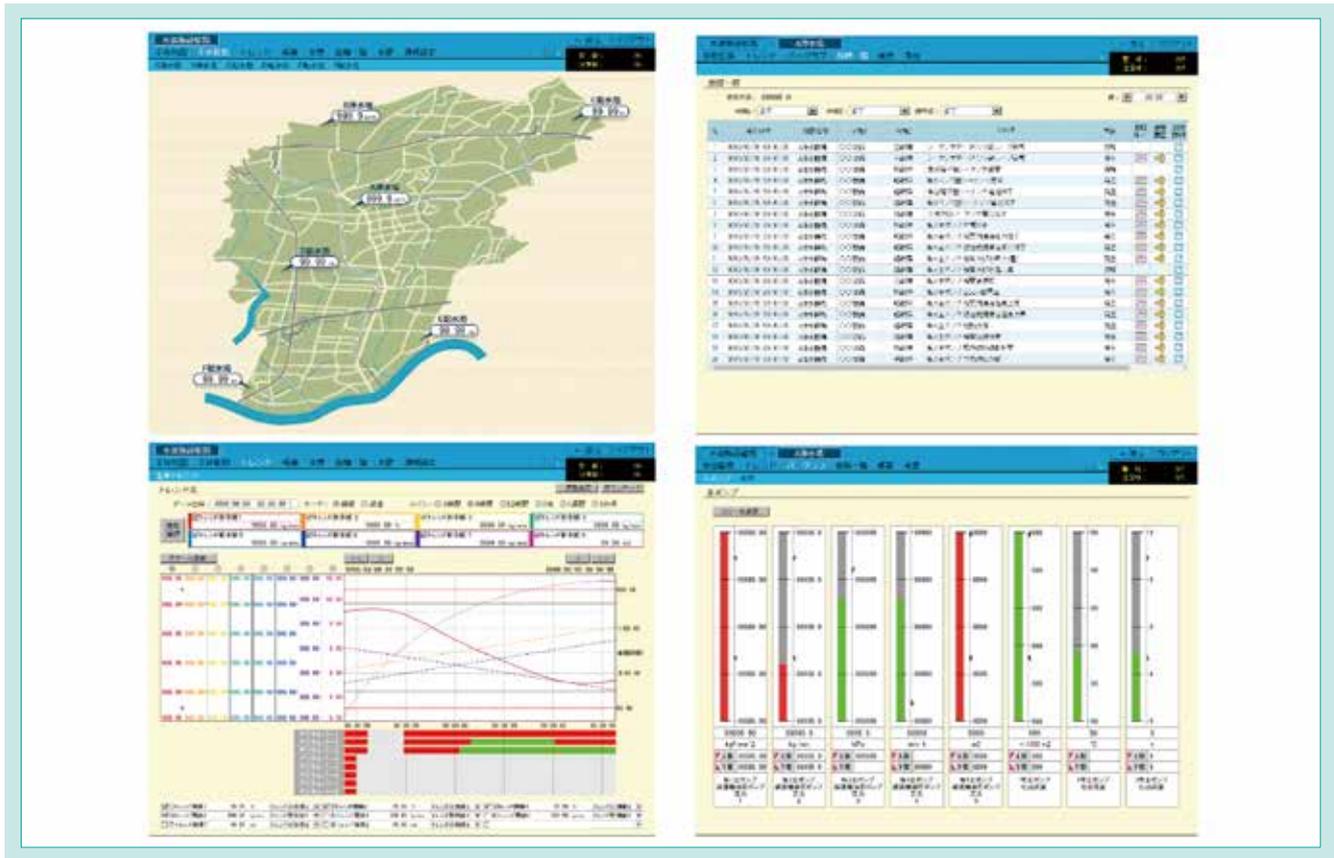


図9 セキュリティ強化サーバの画面例  
Fig. 9 Display Example of the Security-enhanced Servers

## 5. おわりに

本報の内容に加えNTTグループと連携を図り、4Gの導入など通信面だけでなくAI技術を利用したシステムの開発も行っている。気象予測などを利用した施設の早期の対応操作と災害予防による施設管理者の二次災害の被災防止の実現。また、蓄積した過去の運転状況、故障事象のビックデータ解析による機械の長寿命化によるライフサイクルコストの低減など、自治体が抱える悩みを丸ごと解決することが目標である。

また、海外の排水処理施設を日本でも監視するなど民間企業でも活用できる。特に新興国などは技術サポートが必要だが、現地に赴く費用・時間が抑えられる。

現在は機器組込型通信端末の開発も行っており、水・環境及び電装の製品全てがIoTにつながり、お客様に「クボタグループに水環境インフラの全てを24時間任せられる」と信頼いただけることを目指している。

### 参考文献

- 1) 川勝、十川、松江、末吉：“ポンプインターネット監視システム”、クボタ技報No.48,pp.28-33、2014年12月
- 2) 総務省：“IoT時代におけるICT産業動向分析”、平成28年版情報通信白書、pp.80-84.2016年7月
- 3) 総務省：“グローバルICT産業の構造変化及び将来展望等に関する調査研究”、平成27年版情報通信白書、付注6 2015年7月

## 中国向け下水用新型水中ポンプ(KS-J型)の開発

Development of Submersible Sewage Motor Pump for China (KS-J Type)

水・環境開発第1部／ポンププラント部／久保田三聯ポンプ（安徽）有限公司

近年、成長著しい中国では、都市化、工業化の進展、産業活動の規模拡大とともに生活・工場用排水の量は年々増加傾向にある。これに伴って、水処理、下水移送設備の需要が拡大している。下水移送の需要拡大と環境予算増加を背景に、ランニングコストの低減と信頼性を確保した下水用水中ポンプが要求されている。高いポンプ性能と信頼性を有した水中ポンプを開発し、市場の要求に応えるとともに、中国市場における事業拡大を目指す。

## 【キーワード】

中国下水市場 下水用水中ポンプ 高効率、異物通過径、流体解析

In recent years in China, a country that is seeing remarkable economic development, the amount of domestic and industrial sewage has been increasing, along with the progress of urbanization and industrialization and with the increase in scale of industrial activity. Therefore, there is increasing demand for water processing and sewage transfer equipment. Due to a greater need to move sewage and increases in environmental budgets, organizations are seeking to reduce their running costs and have submersible sewage pumps that are reliable. We developed a submersible pump with a good performance and reliability in order to respond to market demands and also to aim at business expansion in the Chinese market.

## 【Key Word】

Sewage Market in China, Submersible Sewage Motor Pump, High Efficiency, Passage Diameter, Fluid Analysis

## 1. はじめに

中国の下水市場は、これまで北京、上海などに代表される大都市のインフラ整備が中心であった。今後は政策として地方整備が掲げられており、農村部の都市化に伴うインフラ整備が盛んになることが見込まれる。このような背景を受け、下水処理市場や下水移送市場の需要が高まることが予想され、下水用ポンプの需要も高まることが想定される。その下水用ポンプ市場では安価な中国ローカルメーカーに加え、高価だが高品質、高性能な世界的に知名度の高い欧米等の外資系メーカーの製品を求める傾向が強くシェアも大きい。中国下水道市場でシェアを

拡大するためには、これらの外資系メーカー同等以上の高品質、高性能な水中ポンプが必要になる。

一方、クボタは安徽省に久保田三聯ポンプ(安徽)有限公司(KSP)(図1)を立ち上げ、国内外向けのポンプの製造販売を手掛けている。KSPの主力製品は上水や鉄鋼市場を対象とする両吸込渦巻ポンプであったが、下水市場への進出を実現し、KSPの主力2本柱となる水中ポンプの開発が求められている。よってクボタとKSPは共同で、競合他社に優る高品質、高性能及び価格競争力を兼ね備えた新型の水中ポンプを開発した(図2)。



図1 久保田三聯ポンプ工場  
Fig. 1 Kubota Sanlian Pump Factory



図2 下水用新型水中ポンプ (KS-J型)  
Fig. 2 Submersible Sewage Motor Pump (KS-J Type)

## 2. 開発のコンセプトと目標値

### 2-1 開発のコンセプト

ターゲットを中国下水市場とし、競合他社を外資系メーカーに据え、計15枠番について開発を行った(図3)。特に性能面では異物の詰まり防止のために、異物通過径を大きくとる必要がある。しかし、通過径を大きくするほど効率は低下するため、この相反する特性を両立する必要がある。

本開発では、以下の4点を開発のコンセプトとした。

- ①高いポンプ効率と異物通過径の両立
- ②高い信頼性
- ③競争力のある価格
- ④短納期

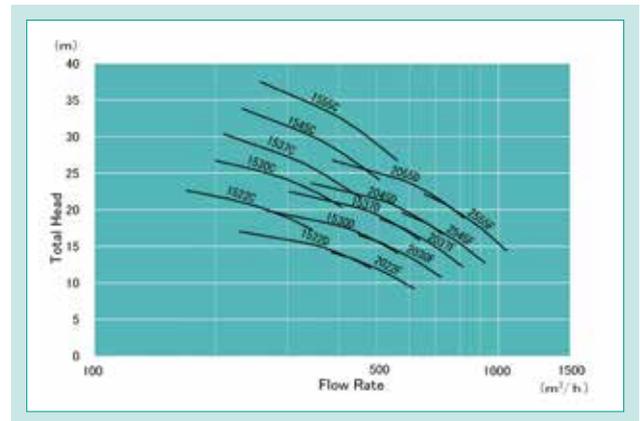


図3 開発機仕様範囲  
Fig. 3 Range of Specifications of New Models

### 2-2 目標と開発仕様

上記開発コンセプトに基づき仕様を決め(表1)、下記目標を設定した。

- ①業界トップクラスのポンプ効率とともに、下水用ポンプとして十分に大きい異物通過径76 mmの両立
- ②軸受やメカニカルシール等の重要品質部品に日本製を使用することによる高い信頼性(日本品質)
- ③外資系メーカーに対して競争力のある価格を実現するための軽量、コンパクトな設計
- ④開発シリーズの中で部品共通化を図り、最小限の部品在庫量と最短納期の両立

表1 開発機仕様  
Table 1 Specifications of New Models

名称	着脱式水中ポンプ
羽根車	クローズドタイプ羽根車
羽根枚数	2枚
口径	150 mm、200 mm、250 mm
出力	22 kW~55 kW
通過径	76 mm以上
保護装置	浸水検知器/サーモガード

## 3. 解決すべき技術課題

中国下水市場で高いシェアを誇る外資系ポンプメーカーの水中ポンプの特徴としては、①異物通過径が大きく異物が詰まりにくい羽根車の形状でありながら、ポンプ効率が高い。②世界的ポンプメーカーが有する経験と設計ノウハウが盛り込まれてお

り、信頼性と耐久性が高い。③量産効果により価格競争力が高い。④発注後の納期は2~3か月程度と短い。

このような特徴をもつ外資系メーカーに打ち勝つためには、以下に挙げるような技術課題をクリアする必要がある。

### ①高効率化と通過径確保の両立

羽根車の羽根枚数は、多いほど効率は良くなる傾向にあるが、異物通過径は確保しにくい。今回の性能開発においては、中国下水道市場向けに要求される異物通過径76 mm(3 inch)以上を確保するために、2枚羽根構造を採用した。そのため、効率向上の難易度が非常に高い2枚羽根の流体モデル開発を行う必要がある(図4)。

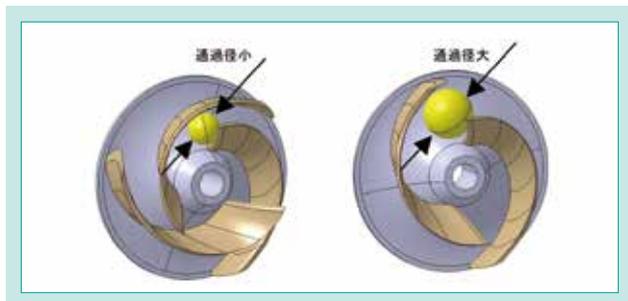


図4 3枚羽根(左)と2枚羽根(右)

Fig. 4 Three-blade (Left) and Two-blade (Right)

### ②耐久性

下水用水中ポンプは、下水の流入量が時間帯によって変動するため、起動、停止を頻繁に繰り返しながら長期間

に渡って運転を行うことになる。下水流入量の時間的な変動は、ピットの容量を大きくすることでバッファ効果を持たせることができるが、これに伴って土木工事費用は高くなり、ポンプ周辺設備を含めた価格競争力は低下する。このことから、ピットの容量を小さくするためには、高い起動頻度で運転ができることが重要となる。そのため、頻繁な繰り返し起動負荷を受けても故障や品質異常をきたさない耐久性を有する必要がある。

### ③価格競争力の向上

高品質、高性能な外資系ポンプに対して同等以上の品質レベルを保持した上で、価格競争力を向上させる必要がある。この課題を実現するためには、軽量かつコンパクトな構造設計でポンプのコストダウンを図る必要がある。

### ④共通化設計による短納期出荷と在庫圧縮

競合他社に比べて短納期出荷を実現するためにはある程度の在庫を保有する必要があるが、一方で在庫リスクを抱えることになる。在庫リスクを低減させるために、シリーズ全体で部品の共通化を行い、短納期出荷と在庫圧縮の両立を図る必要がある。

## 4. 開発技術

### 4-1 高効率化と通過径確保の両立

#### 4.1.1 流体モデル開発プロセス

効率と通過径との両立を狙った羽根車モデルとするために、最少羽根枚数でかつ流体荷重バランスを取りやすい2枚羽根を前提としてモデル開発を進めた。

その前提のもと、従来モデルよりも流体損失を極限まで抑え、流体荷重バランスのとれたモデルを実現させるには数多くの評価を繰り返す必要があった。そのためのモデル形状は、設計・解析・試作の各プロセスで同じ3Dデータを用いて一括管理することとした。それにより、精度の高い評価と、設計・解析・試作サイクルのスピードアップを図った。

更に開発プロセスを加速させるために、3Dプリンタを活用し、羽根車試作品を短期間で製作することとした。また、3Dプリンタで製作した樹脂羽根車を、短時間で運転・評価できるように、専用評価設備を構築した(図5)。

これらにより従来に比べ、設計後の1モデルの評価完了までの日数を約1/3に短縮できた。



図5 開発プロセス

Fig. 5 Development Process

#### 4.1.2 高効率羽根車の開発

##### (1) 子午面設計

羽根車入口において、流路の子午面形状(羽根形状を中心軸に沿って回転投影した面)が軸方向から半径方向へ急激に転向すると、流れの乱れが生じ易い。流れをスムーズに導くために、羽根入口ラインを3次元的なひねりを加えながらより上流側に配置させるとともに、異物通過径を確保するための最適な入口形状を流体解析で確認しながら設計した(特許出願済)。

##### (2) 羽根厚肉化設計

羽根枚数が2枚のため、羽根間の流路が広く、流れの乱れが生じ易い。そこで飛行機翼をベースに、大胆に肉厚変化を与える設計に発展させ、羽根間の流線を整流化し流体損失の低減を図った(図6)。更に異物通過径を確保した設計形状とした。これにより、従来にはない厚肉化設計の手法を見出した(特許出願済)。

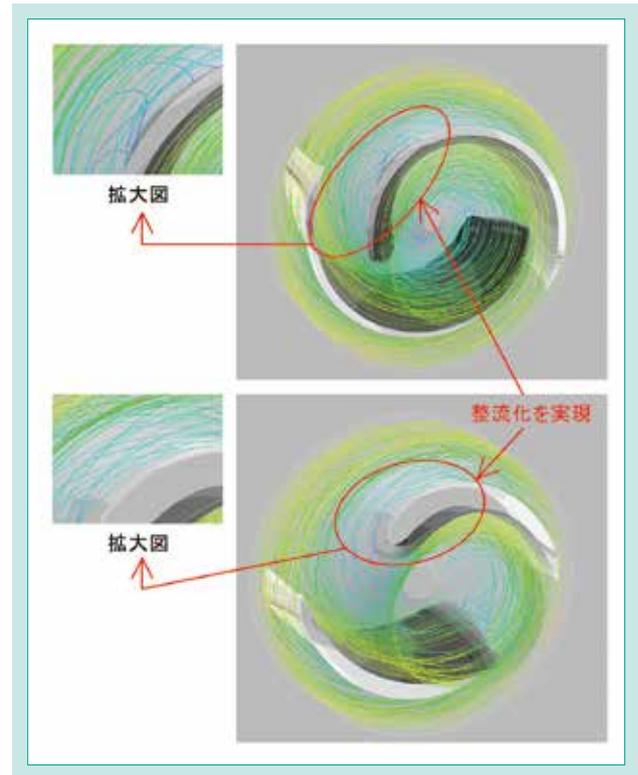


図6 従来設計(上)と厚肉設計(下)の流線比較  
Fig. 6 Comparison of Streamlines Between Conventional Design (Top) and Thick Design (Bottom)

#### 4.1.3 低損失ケーシングの開発

従来、ケーシングは渦室部とノズル部を分けて設計していたが、数種類のパラメータ数値を決めるだけで、短時間に一体化した3D形状を作成できるようにした。

その中でも、大きく寄与するパラメータ4種類(基礎円径、渦室幅、スロート面積、渦室面積変化率)を選定し(図7)、それぞれのパラメータを3水準に振り分けてL9直交表に当てはめた。その組合せ条件において流体解析を実施し、損失に対する各パラメータの感度を評価した。その結果を元に、パラメータの最適な組合せを見つけ出し、損失の極小化を図った。

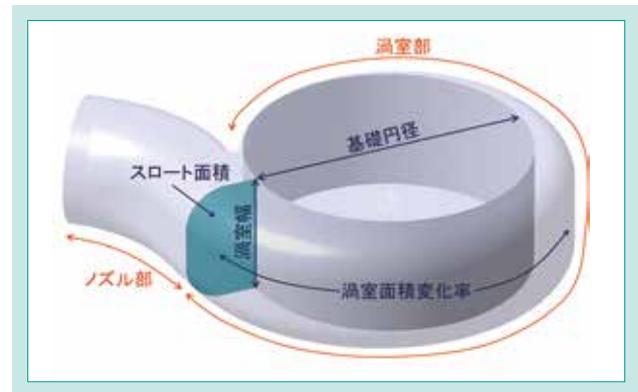


図7 ケーシングの代表設計パラメータ  
Fig. 7 Representative Design Parameter of Casing

#### 4.1.4 ポンプ性能の評価

ポンプ性能は、口径150～200 mmの実機サイズで性能計測を実施・評価した。それにより、ポンプ効率がクボタ従来機よりも5%向上したことを確認した(図8)。また同時に、運転中各軸受に作用する流体荷重を測定した。流れの整流化による流体損失低減を果したことにより、既存モデルよりも20～30%流体荷重が低減し、信頼性や耐久性の向上も実現することができた。通過径に関しては、実機サイズの検証機において、φ76 mmボールが通過すること確認した。

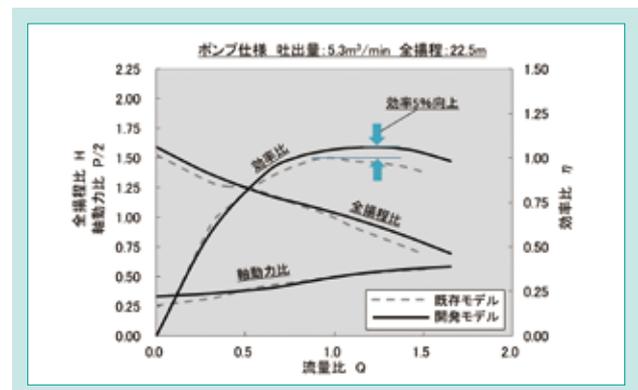


図8 性能カーブ  
Fig. 8 Performance Curve

## 4-2 耐久性の確認

### 4.2.1 耐久試験(繰返し起動停止試験)

ポンプ起動時は起動電流、起動トルクが高くなり、モータや軸受などにかかる負荷も高くなる。また、下水用水中ポンプは流入する下水の量が時間帯によって変動するため、必然的に起動と停止を繰り返すことになり、このような繰返し起動負荷に耐える必要がある。本耐久試験では、数年間の使用期間での総起動回数を想定し、繰返し起動試験を行った。また、容量の小さいポンプピットを想定し、1時間当たり数十回の起動停止試験も行った(図9)。

以下に確認項目と判断基準を示す。

#### ①モータ疲労破壊

絶縁破壊、異常発熱がないこと。また、モータ性能に悪影響を及ぼしていないこと。

#### ②メカニカルシール漏れ

破損がないこと。油漏れや水漏れがないこと。

#### ③羽根車ボルト緩み

ボルトが緩んでいないこと。

#### ④羽根車ライナ摩耗

羽根車ライナ部が摩耗しないこと。

上記のような条件で所定の繰返し起動停止試験を行った後、ポンプを分解して①～④の確認を行った。その結果、いずれの確認項目にも問題がないことを確認した。(図10)



図9 耐久試験後のポンプ取出し

Fig. 9 Taking Out the Pump After Endurance Test



図10 耐久試験後のポンプ分解

Fig. 10 Disassembling the Pump After Endurance Test

## 4-3 価格競争力の向上

### 4.3.1 軽量・コンパクト設計

開発機は価格競争力を向上させるために、軽量かつコンパクトな構造設計を行う必要がある。具体的な方策としては、以下に示す。

①モータを小径化し、軸方向を長くしたことによって放熱効率を上げたこと、及び絶縁種をワンランク上げたことで従来機よりもモータサイズを小さくすることができた。

②従来機ではポンプ上部にケーブル収納部を設けていた。これに対し、開発機では軸受箱の浸水検知スペース上部をケーブル収納部として利用することで、ケーブルカバーをなくし、ポンプの構成部品が削減できた。

③高効率でコンパクトな流体モデル設計を行うことで、モータ出力の低減とケーシングを小さくすることができた。

これらの結果、質量は従来機に比べ約半減することができた(図11)。

機能面では従来機から低下させることはなく、保護装置(サーモガード、浸水検知器)を標準装備することで、ポンプ重大故障の未然防止にも配慮した。

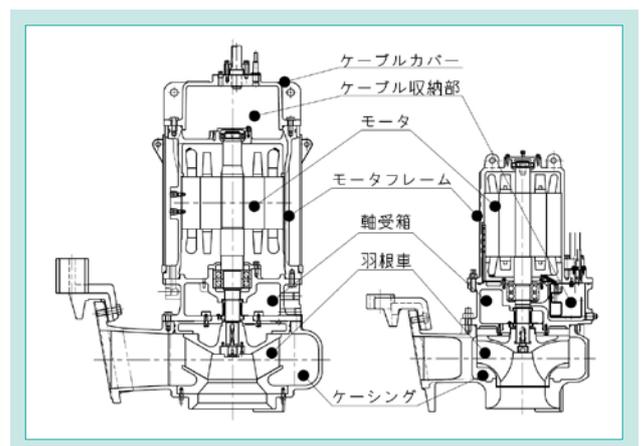


図11 従来機(左)と開発機(右)

Fig. 11 Conventional Model (Left) and the Development Model (Right)

## 4 - 4 短納期対応

### 4.4.1 共通化設計

競合他社よりも短納期での出荷と在庫圧縮を同時に実現するために開発シリーズで部品の共通化設計を行った。主要構成部品を共通化させ、シリーズとして図面数の最少化を図り、木型点数や部品在庫量を抑制した。具体例としては、モータアッシとケーシング取付径“A”や羽根車取付軸径“B”サイズを統一することで、ケーシング吐出口径や羽根車形状に係わらずモータアッシを出力毎に1種類の共通部品とすることができた(図12)。ほかにも羽根車やケーシング、ケーブルの共通化を進め、短納期出荷と在庫圧縮を実現した。

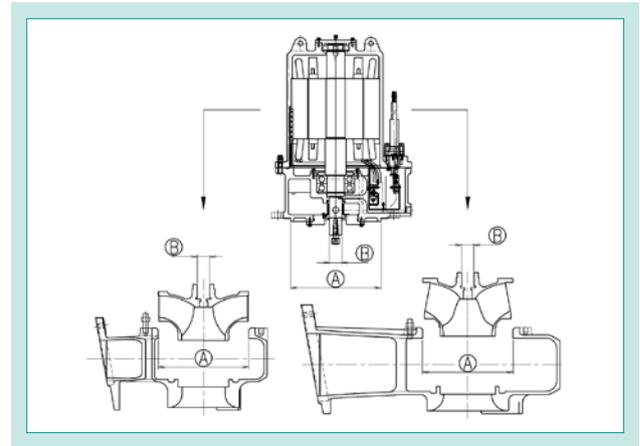


図 12 モータアッシの共用  
Fig. 12 Sharing of Motor Assembly

## 5. おわりに

今回開発した着脱式水中ポンプは、中国において2016年4月から営業を開始し、処理場や中継ポンプ場向けを中心に初物の受注(図13)や、引き合い案件の増加等の効果が表れ始めている。

本製品において得られた成果を以下にまとめた。

- ①ポンプ効率は従来モデルに比べて5%以上向上し、同時に下水用ポンプに重要な異物通過粒径76mm以上を達成した。
- ②重要部品の品質を確保したことで、ポンプの起動停止頻度の高い過酷な運転条件でも安定して運転できることを確認した。
- ③効率的なモータ冷却構造や、ケーブル接続部構造を大幅に見直したことで軽量・コンパクト設計を実現した。
- ④開発シリーズでの部品共通化設計を行うことで、短納期出荷と在庫圧縮を同時に実現した。

また、これらの成果を生かした派生製品として、FRP製ポンプユニット(図14)の販売を開始した。これはFRP製の躯体の中にポンプ、配管、バルブ等一式を組み込んだ製品であり、日本国内で地方に広く普及しているマンホールポンプに相当する製品である。中国では今後、下水インフラの整備が中央から地方に向かうため、大きな需要が見込まれる。

今後はこの開発したポンプを中国の下水市場だけでなく、日本国内や東南アジアに広く展開し、世界の水環境分野におけるクボタブランドの浸透を図っていく。



図 13 初物の出荷状況  
Fig. 13 Shipment of First Order



図 14 FRP 製ポンプユニット  
Fig. 14 FRP Prefabricated Pump Station

### 参考文献

- 1) 寺田進、渦巻ポンプの設計と製図、理工図書株式会社、p.114、1967

## 中国向けバックホー戦略機の開発

Development of Strategic Backhoe for China

建設機械技術部

従来、新興国のバックホー(BH)市場へ新規参入する際は、先進国(日米欧)向け従来機をベースとして若干の変更(言語対応等)を加えるのみであった。しかしながら、中国ではBH市場の拡大に伴い、従来のような小変更だけでは競争力が維持できなくなってきた。そこで、詳細な市場調査の結果、①ミニバックホー(MBH)の特徴的な機能であるスイング機能とドーザ機能は上位機種(重量機種)になるほど使用頻度が低いこと、②中国特有のオーナーとオペレータの関係により、給油インターバルの長期化が大きなセールスポイントになることが分かった。これらの調査結果を織り込んだ中国独自のバックホー戦略機を紹介する。

## 【キーワード】

中国、バックホー、スイング、給油インターバル、ドーザ

Heretofore, when Kubota introduced a new backhoe into a developing country, we made only minor changes based on a conventional model for developed countries. It became impossible for us to maintain a competitive edge by making only minor changes, as in the past, because there is now increased competition as the Chinese market expands. So, we thoroughly researched the Chinese market and found : 1) the swing and dozer functions that are characteristic of a mini backhoe (MBH) are used less frequently as the weight of the machine increases, and 2) a longer refueling interval has become a big selling point due to the relationship between the machine owner and operator that is peculiar to China. In this paper, we introduce strategic backhoe that incorporates those research results for China.

## 【Key Word】

China, Backhoe, Swing, Feed Interval, Dozer

## 1. はじめに

クボタが中国のBH市場に進出した2000年代初頭はまだまだ大型(機械質量20トン以上)が主流で、クボタの主力である小型(8トン未満)のMBHはまさに市場が形成され始めたばかりであった。特に、韓国の大手パワーショベルメーカーがBHの最軽量モデルとして機械質量5トン及び7トンクラスを既に投入しており、ほぼ市場を独占している状態であった。

このような市場環境の中、クボタは上海に建機販売会社を設立した(2003年)。中国全土に販売網を構築すると同時に日本製の1.5トン、3.5トン、5トン、8トンMBHの輸出を開始した。販売開始当初、既に韓国メーカーが市場を占有している東部沿岸部の各省では販売量が伸び悩んだものの、内陸部を中心にMBHを投入し、販売を伸ばしていった。

このような戦略が奏功し、中国建機ビジネスの礎が築けたものの、更なる事業拡大に向けての課題も明らかになってきた。

最も大きな課題は販売価格である。韓国勢はこの頃既に中国に生産工場を移し、部品の現地調達化や低機能化等によりクボタに対して20%以上の低価格を実現していた。これに対し、クボタは日欧米向けに開発した高機能・高付加価値を有する製品を、ほぼそのまま輸出しており、価格面では全く太刀打ちできない状況であった。

次に大きな課題は使われ方の違いである。中国でMBHを購入するユーザのほとんどは、オペレータを雇って機械と一緒に貸し出す『オペ付きレンタル』の個人オーナーであり、機械購入に投資した資金をできるだけ早期に回収しようとするため、機械の稼働率が非常に高く、機械が受ける負荷も大きい。また、高価な燃料をオペレータに補給させず、オーナー自らが現場を回って給油するといった中国独自の特殊事情も分かってきた。

## 2. 中国市場での課題と対応策

### 2-1 低価格化の実現（中国戦略機 KX155-5、KX175-5 の開発）

低価格化実現のための主なポイントは、

- ①中国に工場を設立し現地生産化
- ②中国市場向けに特化した戦略機の開発・投入の2項目である。

クボタでは、2011年中国江蘇省に建設機械生産会社（KCW）を設立し、翌2012年から操業を開始した。

これにより、市場で評価が高い『高品質』のブランドを保ちながらも、現地部品化等の効果で大幅なコストダウンを実現した。

また、詳細な市場調査を行い、実際に機械が稼働している多くの現場を観察しユーザの意見を集めたところ、

- 1) 既販機の機械質量8トンは過剰であり7トンで十分作業可能
- 2) 日欧米ではMBHの重要基本機能であるスイング、ドーザ機能が中国ではほぼ活用されていない。
- 3) 機械後方の極小化は『先進性』として差別化ポイントになっている。

等の結果が得られた。

これらの内容は従来機の改造レベルでは実現できないため、中国向け戦略機として独自に開発を行った。

機械質量5トンの戦略機KX155-5(図1)では、スイング機能の廃止(固定化)やエンジンダウンサイジングを行いながら、次世代機の先進的な外観を実現した。また、7トンの戦略機 KX175-5では、8トン機をベースにドーザ機能廃止、エンジンダウンサイジング、フレーム強度見直し等によりトン近い軽量化を行い、大幅なコストダウンを実現した。



図1 戦略機 KX155-5  
Fig. 1 Developed Model KX155-5

### 2-2 中国独自要望への対応

上述のように、中国ではほとんどのMBHオーナーが現場を回って自ら給油を行うため、給油インターバルの長さが大きなセールスポイントのひとつになっている。

戦略機KX155-5の従来モデルKX155-3は、国内向け仕様機をそのまま中国に投入したため、燃料タンクの容量が64 Lで、中国市場向けには小さ過ぎた。

そこで戦略機KX155-5では、燃料タンクの容量を100 Lに大幅アップした(図2)。更に、燃費が良いエンジン回転数を簡単に設定できるエコモードを新規に採用することにより、低燃費化を実現した。これらの施策により、給油インターバルを従来モデルの約2倍に長期化した。

また、中国市場での厳しい使われ方に耐えるため、作業機やフレーム類の耐久性を向上させた。

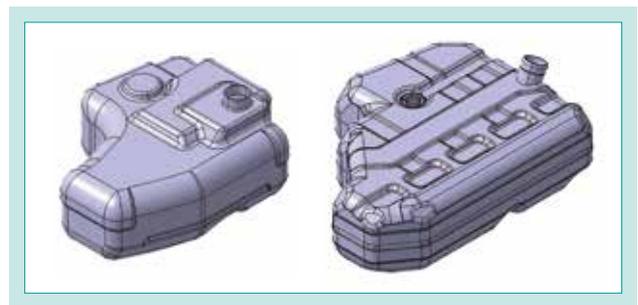


図2 従来モデル64 L(左)と戦略機100 L(右)の燃料タンク  
Fig. 2 Fuel Tank of Conventional Model and Developed Model

## 3. おわりに

本稿では、クボタの建設機械事業で取組んできた中国市場開拓について概略を紹介した。

新市場を開拓する場合、まず既存の保有製品を投入して情報を収集するといった方法を取ることが多いが、この場合最も大切なことは、さまざまな現場での使われ方をきめ細かく観察すること、ユーザの意見を幅広く聞くこと、これらに加えて、その国の

風土、歴史、国民性等を十分に考慮することであると考える。

中国市場においては、戦略機KX155-5、KX175-5の2機種を開発し市場で好評価を得ているが、グローバル市場において、クボタが参入できた市場はまだほんの一部にすぎない。

今後も市場の特徴・顧客のニーズを的確に捉え、タイムリに新製品を開発していく所存である。

# 中東・オマーン・Al Ansab 下水処理場向け膜装置納入と運転

Installation and Operation of Solid-Liquid Separation System for Al Ansab Sewage Treatment Plant in Oman

膜システム部／水処理事業推進部／水処理システム建設部

オマーン国、マスカット市のAl Ansab 下水処理場では、処理水再利用を目的として、清澄な処理水が得られる膜分離活性汚泥法(MBR法)を採用している。同処理場ではクボタのろ過膜装置、液中膜が2010年から運転を開始しており、現在まで順調に稼働している。更に、流入汚水量の増加に対応するため、2015年より施設増設工事が進んでおり、ここでも大型の液中膜が採用されている。2016年9月現在、全12槽中4槽の工事が完了し、新たに納入した液中膜が稼働を開始している。本レポートでは、液中膜が活躍する海外大規模下水処理場の状況と、増設工事でのろ過膜装置導入における課題と解決策、施設の運転状況を報告する。

【キーワード】

膜分離活性汚泥法、液中膜、大規模下水処理場、再生水

The Al Ansab Sewage Treatment Plant (Al Ansab STP) in Muscat, Oman, uses a membrane bio reactor (MBR) system which can produce highly treated water so that it can be reused. KUBOTA Submerged Membrane Unit™ (Kubota SMU) was applied there as solid-liquid separation equipment for the MBR system, and has been operating since 2010 with good performance. Moreover, construction work to expand the capacity of the site is proceeding to meet increasing amounts of waste water, and Kubota SMU was applied again for that expansion project. In September 2016, the installation work for Kubota SMU in four of twelve tanks was completed and it began operating. This report introduces the large-scale MBR STP oversea which is operated with Kubota SMU, and describes problems to be solved for installing new equipment. It also mentions the solutions, and operating condition after installation work.

【Key Word】

Membrane Bio Reactor (MBR), KUBOTA Submerged Membrane Unit, Large-scale Sewage Treatment Plant, Reclaimed Water

## 1. はじめに

世界的な水需給の逼迫に伴い、その対応策の一つとして、下水・産業排水を高度に処理した処理水の再利用、すなわち再生水の需要が高まっている。そのキーテクノロジーの一つが、膜分離活性汚泥法(以下、MBR法)である。MBR法は、微生物の働きを利用した生物処理と膜による固液分離処理を組合せた排水処理技術で、清澄な処理水を得ることができる。MBR処理水の再生水としての利用方法は幅広く、修景用水、灌漑用水、中水等への直接利用、あるいは、より高度な処理水を得るためのRO膜処理への供給水として使用することができる。

クボタは、MBR法に用いるろ過膜装置(液中膜)のパイオニアメーカーとして、世界中に液中膜を送り出してきており、その納入先施設数は現在までに5,000箇所を超える。日本国内では、

ビル施設排水を膜処理し中水としてビル内で循環再利用する事例が多数あり、また、各種工場排水処理においても洗浄用水等に再利用されている。

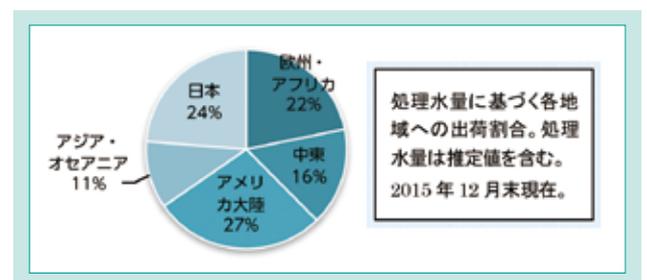


図1 液中膜の地域別出荷割合 (処理水量ベース)  
Fig. 1 Installation of Kubota SMU in the World

海外にも20年以上前から液中膜を送り出してきており、北米、欧州、中国に販売拠点を設置し、排水処理と再生水生成にグローバルに貢献している。図1に、処理水量ベースで見た各地域への納入割合を示す。海外向けが76%を占めており、液中膜が日本のみならずグローバルな水問題に取り組んでいることがよくわかる。また大規模MBR下水処理場では、2010年

に堺市三宝下水処理場(処理規模6万 m<sup>3</sup>/日)、2015年に米国のCanton下水処理場(処理規模約16万 m<sup>3</sup>/日)等で膜分離装置を受注している。

本稿では、液中膜を用いた大規模下水処理場の事例として、オマーン国マスカット市のAl Ansab下水処理場でのクボタの活動を紹介する。

## 2. 施設増設計画

### 2-1 Al Ansab 下水処理場の概要

Al Ansab 下水処理場はオマーン国マスカット市の下水処理場の一つであり、2010年からMBR施設が稼働している(以下、1期工事)。汚水処理量は55,000 m<sup>3</sup>/日で、クボタ液中膜EK400型が採用されている。生物処理反応槽は4系列で構成され、その後段には、液中膜が設置されている膜分離槽が8系列で配置されている。MBR処理水は、灌漑用水として処理場に隣接する緑地帯に供給され、また、マスカット市内に敷設されているパイプラインを通して、さまざまな用途に再生水として供給されている。

2016年9月現在、同処理場では増設工事が行われており、処理能力が125,000 m<sup>3</sup>/日まで増強される計画である(以下、2期工事)。処理水量増加に対応するため、液中膜はより多くのろ過面積を持つモデルに置き換えられる。すなわち、EK400型がRW400型に入れ替わる。2期工事の概要は以下のとおりである。

- ・既存液中膜の全数入替え(既設膜分離槽8槽)

表1 計画汚水量

Table 1 Design Capacity and Configuration of MBR System

項目	計画汚水量 m <sup>3</sup> /日	MBRシステム		
		無酸素槽 +好気槽	膜分離槽	液中膜
1期工事	55,000	4系列	8系列	EK400型
2期工事	125,000	6系列	12系列	RW400型

### 2-2 液中膜が選ばれた理由

2期工事では、既存施設へのろ過膜装置の入替えを行うため、既存施設を最大限に利用しつつ、ろ過膜面積を効果的に増やすことが、建設コスト及び工期の面で重要な課題であった。EK400型とRW400型は互換性が高く、既存の液中膜設置基礎や配管の多くがそのまま活用でき、かつろ過面積を大幅に増やすことができる。また、EK400型とRW400型ではブロウ等の必要な運転機器の仕様が同一で、既存の運転方法がそのまま活用できるため、制御システムの大きな変更も不要である。したがって、大幅な工期短縮が実現可能である。

更に、クボタ液中膜は、世界中で5,000箇所を超える納入実績を持ち、また、Al Ansab下水処理場においても2010

- ・膜分離槽の増設と液中膜の設置(新設膜分離槽4槽)
  - ・生物処理反応槽の増設(既設4系列を6系列に)
  - ・前処理設備、汚泥処理設備等の関連設備の増設
- 計画汚水量と処理系列を表1に、計画水質を表2に示す。2期工事完了時、再利用されるMBR処理水量も増加し、オマーン国の水資源対策に大きく貢献することとなる。



図2 MBRシステム全景

Fig. 2 Overview of MBR System

表2 計画水質

Table 2 Design Water Quality

項目	単位	流入汚水	MBR処理水
BOD	mg/L	256	5
TSS	mg/L	250	5
T-N	mg/L	35	8
NH3-N	mg/L	25.2	1

年から実負荷運転を開始し再生水を安定供給してきた実績を持つ。世界で認められた実績、当該施設での納入後のアフターフォロー、既存施設との適合性が評価され、液中膜が選ばれたと考えている。

なお本案件では、ろ過膜装置の機器販売のみならず、これまでの同下水処理場での運転状況を踏まえた設計見直しと運転方案の提案を行うことで、より最適な処理施設へのグレードアップに向けて支援を行っている。また、クボタは日本国内下水処理施設の建設業も行っており、その知見を活かした工事工程の提案を行い、現地工事を支援している。

### 3. 増設計画への液中膜の適用

#### 3-1 EK400型とRW400型

RW400型は、EK400型に対して装置設置面積当たりのろ過膜面積が約1.8倍あり、既設膜分離槽のろ過能力を大きく増強することが可能である。両者の違いは、各膜分離装置に適用している膜カートリッジと呼ばれるろ過膜の大きさである。それぞれの膜装置の仕様を表3に、RW400型の構造を図3に示す。

液中膜は、膜分離槽に設置し活性汚泥中でろ過運転を行う。上段及び下段膜モジュール内には、それぞれ200枚の膜カートリッジが等間隔で固定されており、清澄なるろ過水を生成する。ろ過水は付属の集合管を通して外部に排

出される。装置下部には散気管を保持しており、散気管から吐出される空気が汚泥上昇流を形成し、常時膜面洗浄を行う。

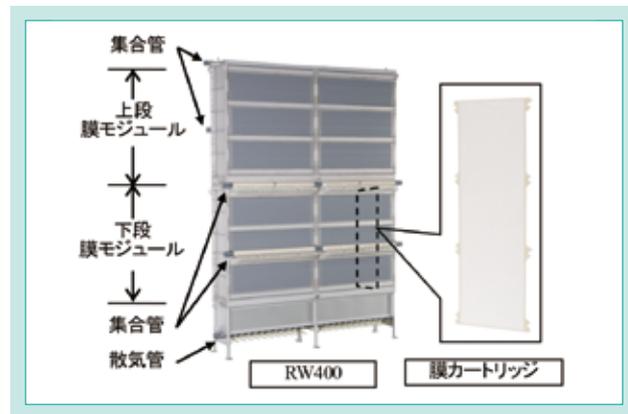


図3 RW400型の構造  
Fig. 3 Structure of RW400

表3 液中膜装置の仕様

Table 3 Specification of Kubota SMU

項目	単位	EK400型	RW400型
膜枚数	枚/台	400	400
ろ過面積	m <sup>2</sup> /台	320	580

#### 3-2 既存施設の活用

RW400型はEK400型のグレードアップも視野に入れて開発された大型機種である。既存施設を最大限に活用できれば、工事コスト低減だけでなく、工期短縮に大きく貢献する。ここでは、既存施設と液中膜との取り合い箇所の適合性が課題となる。すなわち、(1)据付基礎の活用、(2)空気配管の活用、(3)ろ過水配管の活用、この3点である。

##### (1) 据付基礎の活用

液中膜はアンカーボルトで水槽底部に固定される。EK400型とRW400型ではアンカーボルトの大きさ、位置、数量が全く同じであり、既設基礎の活用が期待できる。ただし、既設は運転開始後6年を経過しているため、基礎部材の劣化が懸念された。したがって、全ての基礎の状況確認を行い、そのまま活用できるものは再利用することで、据付工事を短期間で完了させることができた。図4に、基礎部材の一例を示す。

##### (2) 空気配管の活用

液中膜の散気管は空気配管を介してブロウと接続し、膜面に空気を供給する。ブロウから供給される空気は各膜分離槽毎に設置しているヘッダ管を經由し、液中膜に均等に供給される。EK400型とRW400型では、散気管の接続位置と配管口径が全く同じであり、既設空気配管をそのまま活用することができる。特に本施設では、この接続部に着脱可能なカップリングを使用し

ており、それも活用することとした。

##### (3) ろ過水配管の活用

液中膜の集合管はろ過水配管と接続し、ろ過水を排出する。EK400型とRW400型ではろ過水配管の接続位置が異なるため、膜分離槽内のろ過水配管は交換する必要があった。ただし、水槽外部に設置しているろ過水ヘッダ管はそのまま活用することで、ろ過水配管工事を最低限にとどめている。



図4 基礎部材の一例  
Fig. 4 An Example of Basement

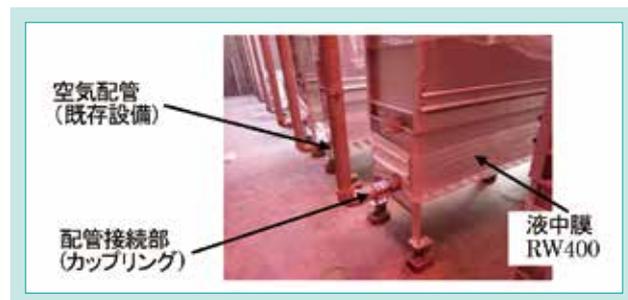


図5 空気配管の再利用例  
Fig. 5 Reuse of Air Piping

### 3-3 重力ろ過設備の活用

本施設では、膜分離槽とろ過水配管の水位差を利用した重力ろ過を採用しており、ろ過のためのポンプが不要である。ただし、RW400型はEK400型に比べて装置高さが約80 cm高いため、十分な水位差、すなわちろ過駆動力を確保するため、以下の課題を解決する必要があった。

- (1) 既設水槽にRW400型を適用した場合、重力ろ過に必要な水深が確保できない。
- (2) 集合管接続位置が異なるため、より高い位置にろ過水配管を設置する必要がある。
- (3) ろ過水配管が水槽壁面を貫通しており、貫通部分は交換できない。このため、槽内ろ過水配管と壁面貫通配管の設置高さに違いができるため、空気だまり発生によるろ過の阻害が懸念される。

これらの問題に対応するため、以下の提案を行った。

- (a) 膜分離槽の水位を100 mm程度高くする。
- (b) ろ過水配管に空気抜き弁を設置する。

空気抜き弁を設けることで、ろ過水配管内の空気を運転開始前に排除することができた。ろ過運転時はこの弁を閉じ、ろ過に良好な条件を形成させる。これらの提案の採用により、壁面貫通配管及び槽外のろ過水ヘッダ管をそのまま活用できることとなった。

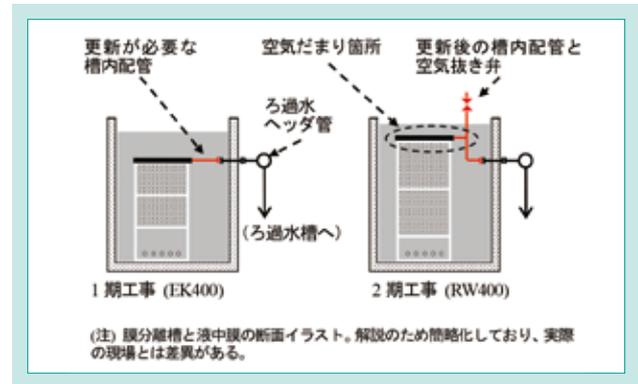


図6 重力ろ過配管の改造

Fig. 6 Piping Modification for Gravity Filtration

### 4. 運転経過

膜分離槽1槽毎に工事を行い、その後、汚泥による性能試験を実施している。性能試験では、ろ過水量、ろ過圧、ろ過水水质を確認する。その運転データの一例を図7に示す。図7に示すように、ろ過水量、ろ過圧ともに安定していた。また、ろ過

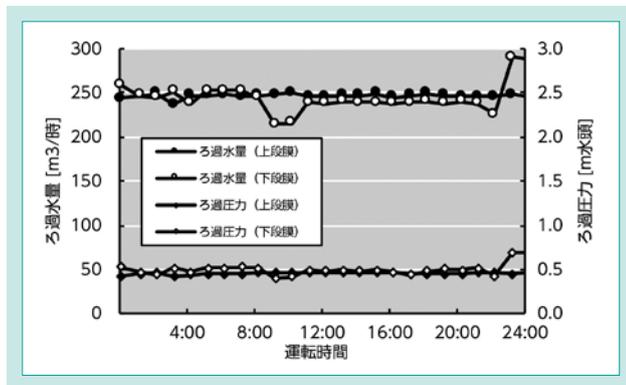


図7 RW400での運転データ

Fig. 7 Operation Data with RW400

水の水质としてSS(固形物量)を測定しており、測定下限値である1 mg/L以下を示す良好な結果が得られている。2016年9月末時点で、膜分離槽全12槽の内4槽の性能試験を終えて、順次、実運転に移行し、再生水生成に寄与している。



図8 膜分離槽内の全景

Fig. 8 Overview of Membrane Tank

### 5. おわりに

本レポートでは、液中膜を用いた大規模下水処理場の事例として、オマーン国のAI Ansab下水処理場を紹介した。現在、2期工事中であり、既設膜分離槽8槽の内、4槽において液中膜の設置を完了し、実負荷運転を始めている(2016年9月末現在)。今後、既設膜分離槽全8槽の工事完了後、更に、4槽が新設される予定である。本施設での運転事例は、液中膜及びMBR法の大規模下水処理場への適応性の高さを示しており、中東地域だけでなく、世界中に展開することができるものであ

る。クボタとしても、機器の品質と性能のみならず、今後のアフターフォローを充実させ、本事例を通して更なる知見と経験の蓄積を図る予定である。

水不足解消のキーテクノロジーの一つであるMBR法が、今後もますます世界中で広まることが期待される中、液中膜をグローバルに展開し、水問題へのますますの貢献を目指していく所存である。

# Kubota Research & Development Asia (KRDA) の紹介

The Introduction of Kubota Research & Development Asia (KRDA)

## 1. はじめに

近年、タイを中心としたASEAN諸国は、経済発展に伴う農業の近代化が急激に進んでいる。クボタは、メーカの中核である研究開発力をより一層高め、ASEAN事業の急激な拡大を支える製品開発をスピードアップすることを目的として、タイに拠点を置くサイアムクボタコーポレーション(以下「SKC」という。)技術部の開発体制を強化するため、Kubota Research & Development Asia (KRDA) を設立した。

このKRDAの役割は、以下の2つである。

1) マーケットの状況(ユーザ・作物・作業・自然条件等)を的

確に把握し、マーケットに適合する製品の開発スピードアップと品質の向上を図り、競争力のある製品を市場投入すること。

2) 製品開発の日本一極体制から脱却し、現地の優秀な人材を雇用・育成して、開発マンパワー増強を図ること。

まず第一歩として、ASEANの最も多くのお客様から信頼される製品開発を目指し、結果として、最も多くの社会貢献をなすブランドである「グローバル・メジャー・ブランド クボタ」を実現することで、ASEAN農業の発展に貢献していく。

## 2. 概要

SKCは、タイで農業用ディーゼルエンジンの生産販売を開始して、今年で38年目である。創業以来、農業機械の生産、販売、サービス活動を通じ、タイ農業の機械化促進と発展に貢献してきた。特に、この10年間は、タイ農業の近代化も急速に進み、クボタはタイを東南アジアの農業機械生産の戦略的拠点と位置付け、農機メーカでは唯一、エンジンの鑄造・加工・組立、油圧部品の組立、トラクタ・コンバインの組立、及びこれらの本機に装着するインプラメント・アタッチメントの設計開発、組立までの一貫生産体制を完成させた。

この度、タイ及びタイ周辺国のみならず、ASEAN諸国の市場に対するマーケットインの製品開発を、更に強化していくために、ASEAN農業の中心であり、かつ、優秀な人材が豊富なタイに、クボタグループ全体の開発力を向上させることを狙ったKRDAを設立した。設立目的は、①安全な職場環境を作ること、②研究開発効率を向上させること、③機密保持、知的財産を保護すること、④スタッフ全員の設計・開発力を更に向上させることにより、研究開発力を強化していくことである。

KRDA内には、①設計者・研究者の事務所棟、②試作機組立を行う研究棟、③試作機組立後の基本性能を確認するための基礎走行試験場、基礎試験圃場、④トラクタ・コンバイン等の車軸・PTO出力測定やトラクタインプラメント等の耐久試験を実施する台上試験棟、⑤各部の応力・振動測定等を行いながら無人で悪路走行試験を行う円形悪路試験場等を備えている。様々な農業機械の研究開発企画段階から、設計、試作、基礎性能テスト、耐久テスト等の、実作物を用いた性能試験を除く全ての工程をKRDA内で実施できるため、開発効率を大幅に向上できる。更に、立地は、セールス・マーケティング部門

があるSKCナワナコン事業所に近く、同時にナワナコン工業団地の端に位置しており、④台上試験棟、⑤円形悪路試験場は24時間無人運転が可能である。図1にKRDAの全景を示す。

### KRDAの概要

- ・施設名 : Kubota Research & Development Asia
- ・設立日 : 2016年5月19日
- ・所在地 : 101/123 Moo 20 Navanakorn Industrial Estate, Khlongnueng, Khlongluang, Pathumthani
- ・敷地面積 : 22,400m<sup>2</sup> (14rai)
- ・建屋設備 : 事務所棟、研究棟、基礎走行試験場、基礎試験圃場、台上試験棟、円形悪路試験場
- ・事業内容 : ①SKC生産機種(トラクタ・コンバイン等)のマイナチェンジ・設計変更  
②ASEAN各国向けの地域限定製品・インプラメント・アタッチメント等



図1 KRDAの全景

Fig. 1 Overall View of KRDA

### 3. KRDA における製品開発実績と今後の展望

#### 3-1 ASEAN 諸国の農作業機械化状況と製品開発事例

KRDAには、「ASEAN各国の様々な作物(米、サトウキビ、キャッサバ芋、とうもろこし、大豆、小麦、パーム、ゴム等)に適した農作業機械化一貫体系(土作り、播種・移植、中間管理作業、収穫、運搬)の構築によって機械化を進展させる」という重要な役割がある。農業は、地域によって作物、栽培方法、農業のベースとなる土壌が異なる。更には、まだ多くの作業を人手に頼っているのが現状である。こうした農作業の機械化へのニーズは、益々高まってきているが、国別・作物別の様々な作業に合致する製品ラインナップは十分ではない。

現在、ASEAN諸国の作物・作業別で見ると、トラクタ・田植機・コンバインを用いた水稲作での機械化率は向上してきたが、畑作では耕うん機・トラクタを用いた土作り工程での機械化率は高くなってきているものの、特に播種・移植、収穫作業に関する機械化は十分に進んでいない。

従来、水稲作用の様々なインプリメント(ロータリ・ディスクプラウ・ディスクハロー・フロントドーザ等)の開発を推

進してきたが、昨今ではそれらに加え、畑作用インプリメント開発に力を入れている。最近、開発した一例として、キャッサバ芋の苗木を移植するインプリメントがある(図2)。タイにおける水田・畑作作業用のトラクタとして最も普及している中型トラクタに装着できるインプリメントで、作業者が同乗する半自動タイプだが、人手作業と比較して、約4倍の作業効率向上を達成できたとともに、移植精度(直進度、直角度、株間、条間等)も向上できた結果、生育条件が良くなり、実際のユーザから得た収量に関する調査結果では単位面積当たり10~50%程度の収量増にも繋がっている。



図2 キャッサバプランタによる作業と移植結果  
Fig. 2 Planting by Cassava Planter and Result

#### 3-2 今後の展望

上述のASEAN特有の作物に対する各作業の機械化はクボタでも過去、経験していない例が多く、世界に目を向けても機械化の例がない作業も多い。また、機械化されている場合でも、欧米に普及している大型農業機械では機械サイズや価格の点からASEAN地域の種々の条件に適合できない場合も多い。よって、人手に頼っている作業を、様々な地域特性に合わせてながら如何に機械化できるかが、重要な開発ポイントとなる。

世界の中でも、ASEAN市場は今後の大きな発展が期待される重要な市場で、KRDAには開発を急がれる開発テーマが山積している。当面の課題は、前述のとおり、

各種畑作物の播種・移植、収穫作業の機械化であり、米・豆・とうもろこし等の種子を播種できるマルチシダ、キャッサバ芋やさとうきびの収穫機等の開発を強力に推進していく必要がある。

一方で、クボタの各技術部が設計したトラクタ・コンバイン・田植機を実圃場に持ち込み、実際のユーザに協力も戴きながら実施している現地適合性、耐久性試験は、数ヶ月、又は数年かけて確認する地道な試験であるが、KRDAにとって、これらも重要な業務の一つである。将来的には、こうしたトラクタ・コンバインの本機テーマもKRDAで設計・研究できる開発力を備えられるように推進していく。

### 4. おわりに

KRDAの使命は、ASEAN諸国の経済発展に伴う農村人口の高齢化、労働力不足に対応するとともに、①農業機械を購入していただけるコントラクタ(農作業を請け負う)ユーザ、②農地を持っているクライアント(コントラクタに農作業を委託する)ユーザ、これら両方の農業を営むお客様の生活が、農機を使った高能率・高精度な作業により農作物の収量増加と品質向上に繋がり、結果として請負収入や農業収入の増加によって豊かになる、つまり農業そのものの更なる発展に向けて、農機メーカーとしての社会的責任を果たしていかなければならない。

製品開発方針は、“Satisfy user needs & Create KRDA

seeds.”で、具体的には、お客様から寄せられる「このような機械が欲しい。」という要求を満たすこと、そして、逆にお客様に「このような作業(機械)が役立つ。」と提案できることである。

また、開発テーマに共通しているコンセプトはASEAN市場向け製品として、「“高い基本性能・高い耐久性・低価格”とユーザベネフィットにつながる“新しい価値”を兼ね備えた機械」であり、この方針、及びコンセプトに沿った製品を、農機を購入するお客様、農作業を委託するお客様が期待する以上のスピードで生み出し続けることで、クボタのASEAN事業拡大に貢献していく。

# 北米 水・環境研究所の設立

Establishment of Kubota Water and Environment R&D Center USA

## 1. はじめに

水・環境総合研究所と水処理事業部は、米国オハイオ州カントン市にあるカントン下水処理場内に水・環境分野初の海外研究開発拠点となる北米 水・環境研究所(英名:Kubota Water and Environment R&D Center USA)を設立した。ここでは、施設の概要と活動状況を紹介する。

図1に示すように、カントン市はオハイオ州北東部の人口約73,000人の都市である。気候は典型的な湿潤大陸性気候に属し、夏は蒸し暑く気温は30℃を超える日が続くが、逆に冬の寒さは厳しく-10℃~-20℃になることが多い。

なお本施設の設立に先立ち、2014年に水処理事業部は、同下水処理場向けにMBR(Membrane Bio-Reactor:膜分離活性汚泥処理)システムの膜ユニットを受注した。完成すればMBRシステムとして処理量15.9万 m<sup>3</sup>の北米最大規模となるばかりでなく、栄養塩(リン、窒素)を除去する高度処理と約2倍のピーク水量対応能力を兼ね備えた処理システムとなる。



図1 カントン市の位置  
Fig. 1 Location of the City of Canton, OH

## 2. 施設の概要と目的

図2に示すように、この施設はカントン下水処理場の敷地内にある。



図2 カントン下水処理場全景と研究所の位置  
Fig. 2 Overview of the Canton Water Reclamation Facility and Location of the R&D Center

特集紹介記事

2

北米 水・環境研究所の設立

図3に示すように、建屋構造はオフィス棟と実験棟に分割している。オフィス棟にはオフィスと、水質分析装置を備えた分析室、実験設備の制御盤・電気設備を設置する電気室がある。実験棟にはMBRをはじめさまざまな水処理実験設備を設置できるスペースがある。

実験用原水は、カントン下水処理場の流入下水の一部を実験棟内にある原水槽に引きこんで使用している。

本施設の設立には以下の2つの目的がある。

#### ①MBRシステムの研究開発

日本の水・環境総合研究所で開発した新しいMBRシステムを、北米の実際の下水を用いてその性能検証実験を実施する。

#### ②北米 水・環境市場のマーケティング

北米の水・環境市場のマーケティングを行い、事業拡大の可能性を調査し、新技術開発に必要な各種試験を実施する。

図4に示すように、実験棟にはMBRシステムの実験設備を設置し、運用を開始している。

今後は、米国の大学や研究機関、装置メーカーとの共同研究、および学会発表等の活動を行っていく予定である。



図3 施設の外観

Fig. 3 Outside View of the Facility



図4 MBRシステム実験設備

Fig. 4 The MBR System Test Plant

### 3. おわりに

2016年7月19日に、カントン市長、副市長をはじめとする市関係者、周辺処理場・EPA関係者、建設コンサルタント、販売代理店等、多数の参加のもと、施設の開所式を行った。

下水処理場内に設置された研究施設は米国でもあまり例がなく、地元紙も一面で大きく取り上げるなど関係者にも好評であった。

水・環境総合研究所と水処理事業部は、グローバルな事業拡大を目指し、MBRシステムをはじめさまざまな水処理システムを開発中である。今後それらをより現地の気候や水質に合ったシステムとするため、本開発拠点を活用していく。

施設名：Kubota Water and Environment R&D Center USA

所在地：3700 Central Ave SE, Canton, OH 44707

# 低価格戦略耐震形ダクティル鉄管「NECS」の開発

Development of Low-price Strategic Earthquake-resistant Ductile Iron Pipe : NECS

鉄管研究部

日本では数々の地震災害の経験から、水道施設の耐震化に対する重要性は十分認識されているが、水道事業者では人口減少や節水機器の普及に伴う給水量の低下による収益悪化等の課題があり、老朽化した「水道管の耐震化」が思うように進んでいない。このような中、限られた予算や人員で耐震化率向上を図らなければならない中小規模水道事業者の要望に応えるため、「経済性」、「施工性」を重視した「低価格戦略耐震形ダクティル鉄管NECS」を開発した。本論文では、NECSの直管・異形管並びに施工性を向上させた簡易接合工具について報告する。

【キーワード】

耐震形ダクティル鉄管、軽量化、薄肉管、コンパクト化、簡易接合工具

Japan has experienced many earthquake disasters, and so the importance of having a water supply that is earthquake resistant is well recognized. However, water supply entities have some problems, such as poor earnings due to a decrease in the amount of water they supply due to a population decline and the spread of water-saving devices. In this situation, the popularization of earthquake-resistant aging pipes has not progressed much. Particularly, small or medium-scale water supply entities have to improve the ratio of their earthquake-resistant pipes to all their pipes with limited budgets and personnel. In order to respond to their demands, we have developed a low-cost strategic earthquake-resistant ductile iron pipe called NECS. It emphasizes economic performance and ease of construction. In this article, we introduce NECS, both the pipe and its fittings, and a simple connection tool that offers improved workability.

【Key Word】

Earthquake-Resistant Ductile Iron Pipe, Weight Saving, Thin-Wall Pipe, Downsizing, Easy Joiner

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災や2016年4月14日、16日に発生した熊本地震等、大地震が多発する我が国の水道管路は耐震化が重要な課題であるが、基幹管路の耐震化率は36.0%<sup>1)</sup>、更新率は1%未満と十分と言えない状況であると考えられる。その主な理由の一つとして給水人口減少並びに節水機器の普及等による料金収入の減少があり、特に給水人口25万人未満の中小規模水道事業者からは「経済性」、「施工性」を重視した耐震形ダクティル鉄管への要望が増えてきた。

そこで、クボタの耐震形ダクティル鉄管の主力製品であるGENEX(図1)に加え、呼び径75~150に低価格戦略製品「NECS」をラインアップした。このNECSは、耐震形ダクティル鉄管の特長(図2)を引き継いでおり、①管厚を低減した製品の軽量化や②製造方法の改善などにより管材料コストはGENEXと比べ20%低

減できた。更に、配管時の施工性向上を目指し「簡易接合工具」も開発した。

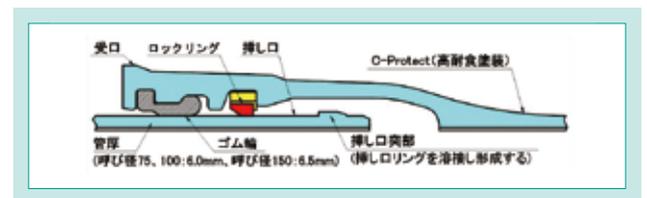


図1 GENEX 直管の継手構造  
Fig. 1 Joint structure of GENEX

- ①材質劣化がない金属管であり、長期耐久性に優れている
- ②局所に集中する地震時の地盤歪みを複数の継手の伸縮・屈曲で吸収する鎖構造管路
- ③複数回の大地震にも耐える

図2 耐震形ダクティル鉄管の特長

Fig. 2 Strong Points of Earthquake Resistant Ductile Iron Pipe

## 2. 開発コンセプトと開発目標

### 2-1 開発のコンセプト

NECSの開発コンセプトを以下に示す。

(1) 管材料コストを20%低減できる耐震形ダクタイル鉄管  
中小規模水道事業者の中には「ライフサイクルコスト」  
が安価なGENEXを採用したいが初期工事費の予算が  
足りないため、やむを得ず他機種(樹脂管)を採用し  
ている」という意見がある。こうした水道事業者を対象  
に「GENEXと比べ長期耐久性は劣るものの、同等の  
継手性能を有し、管厚薄肉化により管材料コストを低

減することで初期工事費を抑える耐震形ダクタイル鉄  
管」を提供する。

(2) 施工性向上

中小規模水道事業者では配管業者不足が大規模水  
道事業者より深刻である。そのため「作業性向上のため  
の管の軽量化」、及び「誰でも接合できるための簡  
易接合工具」を提供する。

### 2-2 目標

開発コンセプトを具現化するための目標を以下に示す。

(1) 軽量化

「管材料コスト低減20%以上(GENEX比)」を目指す  
ため、直管・異形管を軽量化する。また、軽量化により「施  
工現場での取扱い易さによる施工性向上」も図る。継手  
の耐震性の目標性能はGENEXと同等とするが、使用水  
圧はGENEXの3 MPaから1.3 MPaに制限する(表1)。

表1 継手の目標性能

Table 1 Performance Target of Earthquake Resistant Joint

項目	性能目標
耐震性	継手は管長の±1%伸縮でき、最終的には 離脱防止力3 DkNに耐える
水密性	継手部が真直状態で、8° 曲げ状態で 水圧1.3 MPa負荷時に漏水なし
挿入力	5.0 kN以下

① 薄肉直管の開発

直管の目標質量を「GENEXの10~20%低減」とし

た。例えば呼び径75、100は、管厚を6.0 mmから4.5  
mm(25%薄肉)とする。

② コンパクト異形管の開発

異形管の目標質量を「GENEXの20%低減」とした。異  
形管は直管と製造方法が異なるため、薄肉にすると  
不良率が上がりコスト低減に繋がらない。そこで、異  
形管は「ショートボディ化」による軽量化を目指す。

(2) 製造方法関連のコスト低減技術の開発

① 挿し口リングが不要なビード溶接による挿し口突部形  
成技術を開発する。注) GENEXは挿し口リングが必要: 図1参照

② 内面粉体塗料の目標使用量を「GENEXの40%低減」  
とするため、珪砂を混ぜた粉体塗料を塗装できる技  
術を開発する。また、生産コスト低減のため、管の予  
熱に焼鈍熱を利用することで製造工程を短縮する。

(3) 簡易接合工具の開発

直管接合の施工性を向上させるため、「簡易接合工  
具」を開発する。

## 3. 解決すべき技術課題

(1) 薄肉直管の技術課題

薄肉でGENEXと同等の継手の水密性及び耐震性を確保  
するための「新しい直管継手構造の開発」が必要である。  
主な技術課題は次のとおりである。

① 薄肉のため埋設土や地震時の「管の変形に追従する直  
管用ゴム輪の開発」が重要となる。

② 薄肉のため切管したときに用いる「切管ユニットの開発」  
が重要となる。離脱防止性及び腐食対策が課題である。

(2) コンパクト異形管の技術課題

異形管のショートボディ化を図るためには「新しい異形管  
継手構造の開発」が必要である。特に「図3に示す受口長  
さ(P寸法)を短くした継手構造の開発」が重要となる。

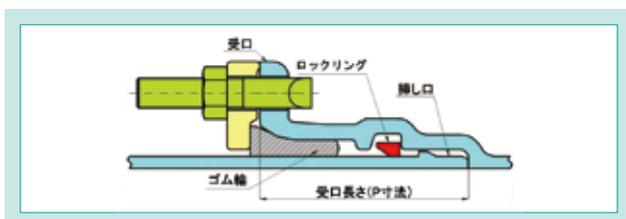


図3 GENEX 異形管の継手構造

Fig. 3 Joint Structure of GENEX Fitting

(3) 製造方法関連のコスト低減の技術課題

① ビード溶接による挿し口突部形成の技術課題

挿し口突部の形状によっては「継手の接合ができない」、  
「3 DkN(Dは呼び径、以下同様)の離脱防止力に耐  
えない」等の問題が生じる(図4)。そのため、「ビード溶  
接形状の品質検査システム」が重要となる。

② 珪砂混合エポキシ樹脂粉体内面塗装の技術課題

珪砂の露出による耐久性を損なわないため、また、塗装表  
面の「見栄え品質向上」のため、珪砂の露出を抑える必要  
がある。そのため、塗装方法の開発が重要となる。また、焼  
鈍熱を利用して粉体塗装するためには「管体温度が高い  
状態で管の水密性を検査する技術開発」が重要となる。

(4) 簡易接合工具の技術課題

現行のレバーホイストを用いた接合工具と比べてセットが  
しやすく、誰でも簡単に接合できなければならない。

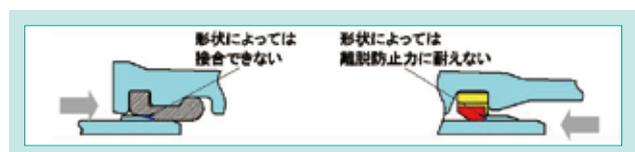


図4 GENEX 挿し口突部の動き

Fig. 4 Behavior of GENEX Spigot Projection

## 4. 開発技術

### 4-1 薄肉直管

#### 4.1.1 NECS直管の継手構造

図5にNECS直管の継手構造を示す。

GENEXと同様に管上でセットした1本のレバーホイスの操作で接合可能なプッシュオンタイプの継手とし、曲げ状態(継手屈曲角度 $2^\circ$ )での接合も可能とした。

薄肉に関連する特長は次のとおりである。

- ①規格管厚を呼び径75、100は4.5 mm、呼び径150は5.5 mmとし、質量をGENEX比10 ~ 20 %低減した(表2)。
- ②埋設土や地震時の管の変形に追従でき、使用水圧1.3 MPaの条件下であれば水密性がGENEXと同等である

シンプルな形状のゴム輪を開発した。

表 2 直管の管厚と質量  
Table 2 Pipe Thickness and Mass

呼び径	管厚(mm)			直管1本当たりの質量(kg)		
	NECS	GENEX	差	NECS	GENEX	低減率
75	4.5	6.0	-1.5	44.4	55.7	20.3 %
100	4.5	6.0	-1.5	56.5	71.9	21.4 %
150	5.5	6.5	-1.0	118.0	136.0	13.2 %

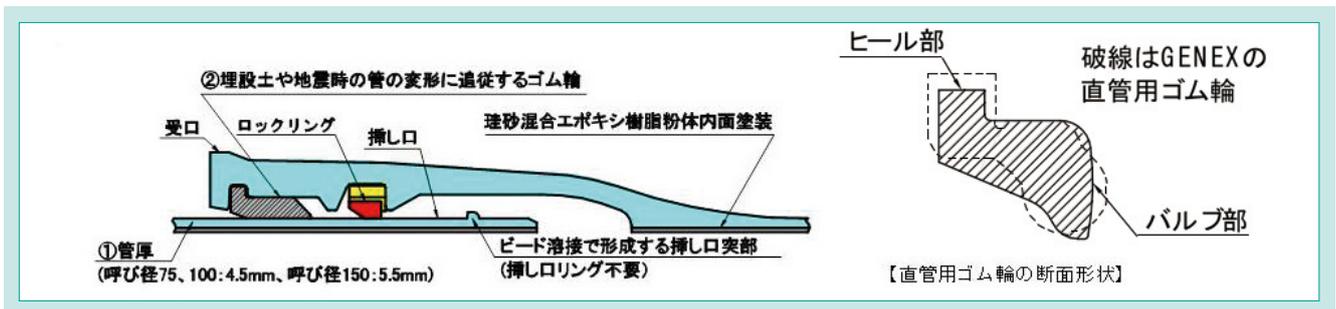


図 5 直管の継手構造  
Fig. 5 Joint structure of NECS

#### 4.1.2 薄肉化

NECS直管の管厚を薄肉化した場合(呼び径75、100: 4.5 mm、呼び径150: 5.5 mm)の耐震性を評価するため、離脱防止試験を行った。

図6に離脱防止試験結果を示す。継手部は3 DkNの離脱防止力に耐え、解体後の管や付属品に破損等の異常は見られなかった。このことから、NECSの薄肉で目標の耐震性を得られることを確認できた。

#### 4.1.3 直管用ゴム輪

直管用ゴム輪の形状はFEMIによる応力解析及び各種性能試験にて検討し、図5に示すように「薄肉管の変形に追従しやすく、製造性に優れた断面形状のゴム輪」を開発した。

##### (1) 応力解析

①接合後の応力解析と、②継手部に埋設土や地震等による外力が作用した時の管の変形量を考慮した上で、接合後に内水圧を負荷した時の応力解析を行い(図7)、必要な面圧(水圧1.3 MPa以上が必要)が確保できることを確認した。

なお、接合時に石を噛んだ場合でも亀裂が生じないように、接合状態でゴム輪に過度な引張応力が発生しないことも確認した。

##### (2) 性能試験(面圧測定試験、水密試験)

上記で設計したゴム輪の評価を行うため、面圧測定試験及び水密試験を行った。

①面圧測定試験: 接合後と水圧を負荷した場合のいずれの条件においても解析結果と同様の面圧を得られていることを確認できた。

②水密試験: 継手部が真直状態、 $8^\circ$  曲げ状態で水圧

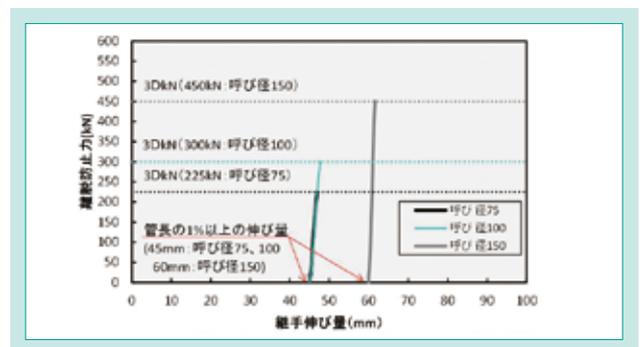


図 6 直管の離脱防止試験結果  
Fig. 6 Test results of Slip-out Resistance Performance of Pipe

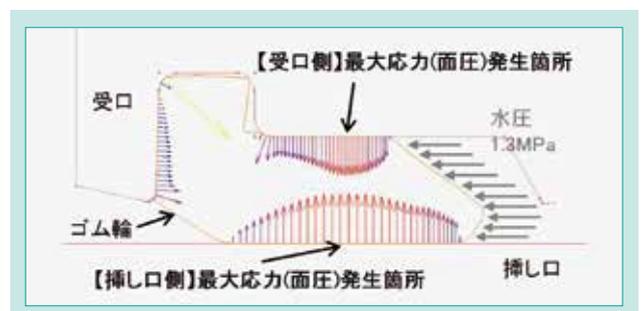


図 4 直管用ゴム輪の応力解析結果(継手部が真直状態の例)  
Fig. 4 FEM Analysis Result for Connected Rubber Gasket

1.3 MPaを加えても漏水は認められず、FEMIによる応力解析結果と同様に目標の水密性を有している結果が得られた。

4.1.5 切管ユニット(N-Link)

NECSに適用できる切管ユニット「N-Link(図8)」を開発した。N-LinkはGENEX用切管ユニット「G-Link」と同様の構造としたが、NECSは「薄肉であること」、「C-Protectを施さないこと」から、以下に示すような対策を施した。

(1)薄肉対応用3つ爪構造

離脱防止力が作用した場合の薄肉管の損傷を緩和するため、爪の数をG-Linkの2つから3つとし、管に発生する応力を分散させる構造とした。図9に離脱防止試験結果を示す。①継手部は目標の離脱防止力3 DkNに耐え、解体後のN-Link、異形管、及びボルトに変形等の異常は見られなかった。②離脱防止力負荷後の水密試験でも漏水はなく、目標の水密性を確保できていることを確認した。



図8 NECS 切管ユニット (N-Link) の構造  
Fig. 8 Joint Structure of N-Link

(2)腐食対策用ゴムリング構造

C-Protectがないため地下水が3つ爪収納部に浸入し腐食した場合、離脱防止性が損なわれる恐れがある。そこで、地下水の侵入口の3ヶ所にゴムリングを設け地下水が入らないようにした。上記の対策により水深2.0 m(土被り0.6 m想定で安全率3以上)でも浸水することはなく腐食対策についても問題ないことがわかった。

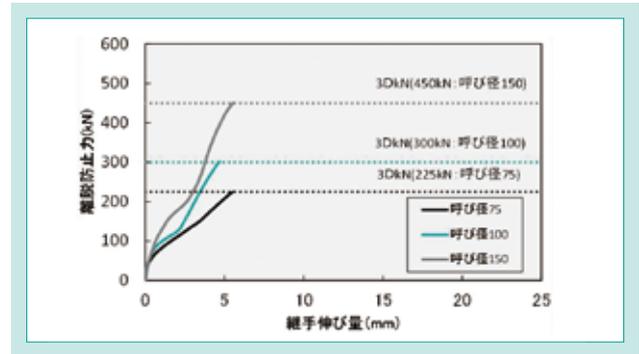


図9 切管ユニットの離脱防止試験結果  
Fig. 9 Test Results of Slip-out Resistance Performance of N-Link

4-2 コンパクト異形管

4.2.1 異形管の継手構造

コンパクトな異形管とするため、継手構造を以下に示すように設計した。

- (1)離脱防止のために必要なロックリングを受口の内部(GENEX、図10)から外部に配置変換することで受口、ボディの長さを短縮した。押輪については離脱防止力が作用した場合に強度が必要となることからFEMによる応力解析を用いて最適な厚み、形状を検討した。
- (2)受口フランジ形状を従来の円形状から呼び径75、100は正方形形状(ボルト4本)、呼び径150は六角形形状(ボルト6本)とすることで可能な限り減肉した。それにより、異形管の質量はGENEX比20%以上低減(45°曲管の例:34.6~42.4%)できた(表3、図11)。

表3 異形管長さ質量

Table 3 Fitting Length and Mass

呼び径	受口長さ			ボディ長さ			異形管の質量 (45°曲管の例)		
	NECS	GENEX	差	NECS	GENEX	差	NECS	GENEX	低減率
75	39.0	136.5	-97.5	215.0	272.0	-57.0	7.6	13.2	42.4%
100	39.0	137.5	-98.5	215.0	273.0	-58.0	10.1	17.1	40.9%
150	39.0	142.0	-103.0	242.0	283.0	-41.0	18.3	28.0	34.6%

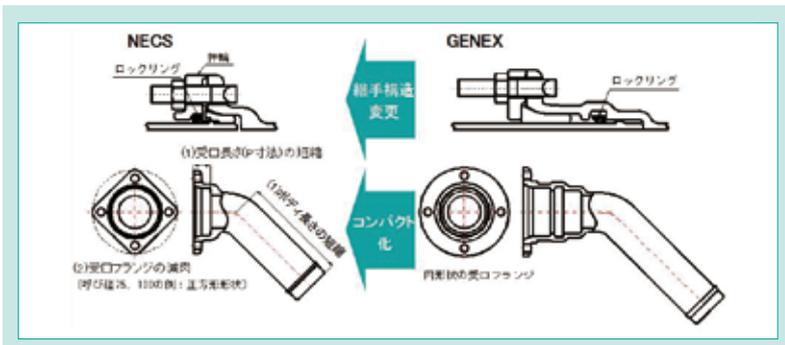


図10 NECS 異形管のボディ形状および継手形状  
Fig. 10 Body and Joint of Fitting



図11 NECS 異形管  
Fig. 11 NECS Fitting

4.2.2 性能試験

異形管の継手部は目標の離脱防止力3 DkNに耐えることを確認できた。また、応力解析により最大発生応力が材料の耐力270 MPa以下となるように設計した押輪は解体後に変形等の異常は確認されなかった。離脱防止力負荷後の水密試験でも漏水はなく、水密性も問題ないことがわかった。

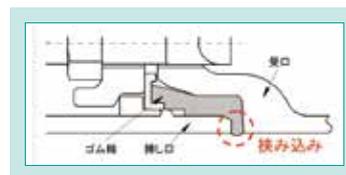


図12 接合不良状況  
Fig. 12 Situation of Misconnecting

また、継手部が曲げ状態やボルトを片締めで締め付ける等、厳しい条件で接合しても図12に示すようなゴム輪の挟み込みはなく、問題なく接合できることがわかった。



#### 4.4.2 性能試験

簡易接合工具を用いた接合試験を行った(図20)。接合作業位置は実施工を想定し、①掘削溝内で接合する場合と②掘削溝上から接合する場合(高さ0.8 mの台上から実施)の2パターンとした。その結果、いずれの場合でも接合が可能であり、接合時間は呼び径100で2.2分(レバーホイストの呼び径100の例:3.6分)と簡単に誰でも接合ができることを確認できた。



図 20 接合試験状況

Fig. 20 Status of Jointing with Easy Joiner

#### 4-5 試験施工による施工性検証

NECSは2015年12月より試験施工を開始し、2016年9月現在で予定を含む施工延長は105件×計約38 kmと毎月増加している(表5)。以下に試験施工結果及び施工業者のヒアリング結果例を示す。

##### (1) 試験施工結果

- ①地下水の有無に左右されず施工が可能であった。
- ②カーブ配管が必要な現場でも問題なく接合できた。
- ③施工延長は最大で1日15本、60メートルであった。

##### (2) 施工業者のヒアリング結果

- ①直管、異形管ともに、軽量化により配管時の位置合わせがしやすかった。また、呼び径75直管は軽いので人

力での運搬が容易になり良かった。  
②簡易接合工具を用いた接合は、これまでのレバーホイストを用いた接合と比べ、スリングベルトを管に巻き付ける作業が不要であるため、接合時間が短かった。  
以上のようにNECSはダクタイル鉄管の従来の特長に加え軽量化による施工性の向上が好評であり、試験施工においてもNECSの特長を確認できた(図21)。



図 21 管の運搬・配管状況

Fig. 21 Status of Carrying Pipe and Jointing

表 5 試験施工の実績 (予定を含む)

Table 5 Record of Test Construction

項目		実績
試験施工件数		105件
施工延長	呼び径75	23,643 m
	呼び径100	15,127 m
1日あたりの最大延長		60 m(15本)

#### 4-6 管路コスト比較

NECSは管材料コストを20%低減できたため、GENEXと比べ管路コスト(初期工事費)を低減できた。

その結果、呼び径75での500 mのモデル管路コストを樹脂管と比較した場合、購入土での埋戻しでは10%高価であるものの、管体強度の高いダクタイル鉄管は発生土で埋戻しができるため、管路コスト(初期工事費)は樹脂管と比べ安価なレベルまでコスト低減を達成できた(図22)。



図 22 モデル管路でのコスト比較 (呼び径 75)

Fig. 22 Cost Comparison (ND75)

## 6. おわりに

NECSにおいて、(1)薄肉管厚直管、(2)コンパクト異形管、(3)ビード溶接による挿し口突部の形成、(4)珪砂混合エポキシ樹脂粉体内面塗装、(5)簡易接合工具を開発した。これらにより「管材料コスト20%低減」、並びに「管の運搬や取扱い易さによる施工性向上」を実現することができた。

現在は全国各地で試験施工を実施しており、水道事業者や施工業者からNECSの経済性と施工性について好評を得てい

る。2016年9月からは呼び径150直管、2017年1月からは呼び径150異形管の試験施工も加わるため、更に試験採用の水道事業者が増え、本格採用に繋がっていくと期待している。

今後も継続して水道管更新事業に貢献できる製品、技術の開発に努めていく所存である。NECSが、わが国のさらなる水道管路更新と耐震化の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省:水道施設の耐震化の現状 <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/taishin/>

## 民間工場向け無端ろ布走行式フィルタープレス(ランフィル)の開発

Development of Filter Press with Running Endless Filter Cloth

水・環境開発第二部

公共水処理施設向け製品の特徴を活かしたフィルタープレス脱水機を、新たに民間工場向けにフルモデルチェンジし、自動車、金属工場を中心に機器販売事業を立ち上げた。開発にあたり実施したユーザヒアリングでは、維持管理作業の不満、機械が大きく、重たいという問題点があった。この課題にクボタは公共水処理施設で培った無端ろ布走行式フィルタープレスの優位な点を継承しつつ、新たに「維持管理コストを半減する」、「コンパクト」なフィルタープレスをコンセプトに開発に取り組んだ。脱水ケーキ排出の自動化、ろ布や消耗品の容易な交換等により維持管理作業を大幅に低減。また、超高压力油圧システムの構築、脱水処理の高速化でコンパクト化を実現。更に、民間工場特有の多い運転回数に対応するため、装置の耐久性を向上させて開発を完了させた。

## 【キーワード】

無端ろ布走行式、容易な維持管理、高いろ過速度、高い耐久性

An all-new filter press dewatering machine was developed for targeting the private sector. Some installations have been achieved for mainly automotive and metal industries, which contributed to an effective start of the machinery sales business for the private sector. According to a survey for industrial users, we found they had some complaints about maintenance, size and weight of filter press dewatering machines. Therefore, our development goals were to realize both ease of maintenance and compact products, inheriting the advantages of running endless filter cloth. We were able to reduce the amount of maintenance work by adopting an automatic dehydration cake discharge system and ensuring easy replacement of the filter cloth and consumables. In addition, we realized a compact product with an ultra-high hydraulic pressure system and high filtration speed. We completed the development to improve the durability since the machine is used with high frequency in the private sector.

## 【Key Word】

Running Endless Filter Cloth, Ease of Maintenance, High Filtration Speed, High Durability

## 1. はじめに

公共水処理施設や民間工場で発生する排水は、水処理設備で生物処理法や凝集沈殿法によって浄化され、清澄水と汚泥に分離して、清澄水は河川へと放流される。一方、汚泥はそのままでは容積が大きく、搬送性も悪く処理しにくい。このため汚泥脱水機で水分を取り除き、脱水ケーキ(以下、ケーキ)にして減容化と搬送性を改善させている。その後、汚泥の種類に応じて焼却、埋立て、コンポスト、燃料化などの処理を行っている。

クボタは1974年より浄水場、下水処理場、し尿処理場等の公共水処理施設を対象にフィルタープレス脱水機を納入してき

た。近年、高分子凝集剤の性能向上に伴い、低薬注率で運転できる遠心脱水機、スクリーンプレスが主流となり、フィルタープレスの採用が激減した。しかし、民間工場の凝集沈殿排水(無機系排水)に着目すると、無薬注で最も低含水率が実現できるフィルタープレスが依然多く採用されている。そこで、これまで公共水処理施設で培ったクボタ独自の無端ろ布走行式フィルタープレスを民間工場向けにフルモデルチェンジを行い、新製品ランフィルを開発した(図1)。



図1 Kubotaフィルタープレスの外観（開発機／従来機）  
Fig. 1 Appearance of Kubota Filter Press (Developmental Model / Conventional Model)

## 2. 開発コンセプトと開発目標

### 2-1 民間工場のユーザヒアリング

開発にあたり実施した約200社からのユーザヒアリングでは、フィルタープレスは「ケーキの掻き落とし作業に手間がかかる」、「ろ布やパッキン類の消耗品の交換作業が大変」という不満が多く見受けられた。

また、開板、ケーキ排出、ろ布洗浄といった雑時間（ろ過、圧搾以外の時間）が長いこと、他の脱水機種に比べ、処理量の割に機械が大きく、重たく、更新時に設置で

きないという問題もあった。

更に、モルタルや油薬を扱う民間工場ではろ過速度（単位ろ過面積・単位時間当たりの固形物処理量）が速く、運転回数が多い。加えて、公共水処理施設に比べ脱水設備に余裕がなく、昼夜問わず24時間連続運転を行っており、脱水機の運転回数が多くなることから、装置の設計寿命を長くする必要があった。

### 2-2 開発コンセプトと開発目標

ユーザが抱えている「維持管理作業の大変さからの不満」、「更新時に設置できないという機械の大きさ、質量の問題点」を解消するため、今迄の無端ろ布走行式の優位な点を継承しつつ、新たに「維持管理コストを半減する」、

「コンパクト」なフィルタープレスを開発コンセプトとした。

開発目標は、民間工場の多い運転回数の環境下でも、故障しない耐久性の高い製品とした。

## 3. 解決すべき技術課題

### 3-1 維持管理性の改善とコンパクト化への課題

#### ①維持管理性の改善

負荷がかかる作業として多くのユーザが指摘するケーキの排出作業とろ布やパッキン類の交換作業に着目し、最小の人数で短時間にできることを目標に取り組んだ。また、消耗品であるろ布を延命させることで、交換頻度自体を少なくする必要があった。更に、ろ布の洗浄水が飛散す

る工場が多く、洗浄水の飛散対策に取り組んだ。

#### ②装置のコンパクト化

超高圧力油圧システムを構築することでフレーム、油圧装置のコンパクト化に取り組んだ。また、雑時間の短縮とろ過工程の脱水効率を改善してろ過速度を速くして、運転回数を多くすることで装置のコンパクト化に取り組んだ。

### 3-2 フレームの耐久性の課題

公共水処理施設の有機系排水はろ過速度が遅く、例えば、下水処理場では2 kgDS/m<sup>2</sup>/h。昼間の8時間運転だけで、運転回数が少ない。一方、民間工場の無機系排水は最大20 kgDS/m<sup>2</sup>/hとろ過速度が速い。24時間連続運転の工場もあり、運転日数300日/年間、耐用年数15年とすると、最大で45万回と運転回数が多い。そこで、本体フレームの設計寿命を45万回にする必要があった。

表1 施設による運転回数の違い

Table 1 Difference Between Number of Work Cycles in Various Markets

項目	単位	民間工場	下水処理場
ろ過速度	kgDS/m <sup>2</sup> /h	20	2
運転時間/1日	h/日	24	8
運転回数	回	450,000	54,000

## 4. 開発機の説明と開発結果

### 4-1 開発機の概要

#### 4.1.1 フィルタープレスの構造

フィルタープレスはケーキの排出方法の違いによりろ布固定式とろ布走行式に大別される。ろ布固定式が開板、ケーキ排出、ろ布洗浄までの工程を一室ずつ行うのに対して、各室ろ布走行式では複数室同時に行うため雑時間が短縮される(図2)。

#### 4.1.2 開発機の全体構造

開発機はクボタ独自の無端ろ布走行式であり、全室同時に開板、ケーキ排出、ろ布洗浄ができるため雑時間の更なる短縮が実現した(図3)。

脱水工程はろ布固定式、各室ろ布走行式のフィルタープレスと同様、①閉板→②ろ過→③圧搾→④ブロー→⑤開板→⑥ケーキ排出→⑦ろ布洗浄の順序になる。ろ布はろ板の上下に設置したロールを介して無端状(エンドレス)になっている。

ケーキ排出からろ布洗浄の工程では、緊張装置(エアシリンダ)と駆動装置(ゴムロール)によりろ布を走行させる。ろ布の蛇行を防止するため、ろ布の幅方向の位置をセンシングし、蛇行修正装置(エアシリンダ)で無段階修正される。ろ布洗浄はフレーム上部の洗浄槽内部で行う。

#### 4.1.3 開発機のろ室部の構造

ろ板の上下のロールを介して2枚のろ布が重なり合いろ室を形成している(図4)。

ろ過工程では、汚泥をスラリー連通管及びフィードピース(給液口)を経由してろ室へ圧入(0.4 MPa)し、ろ布の間でろ過する。ろ液はろ液連通管より排出する。

圧搾工程では、ろ板の凹部に設けられたダイヤフラムに圧力水(1.5 MPa)を送り膨張させることで、ろ室に残ったケーキを圧搾脱水する。圧搾工程後は、ブロー及び

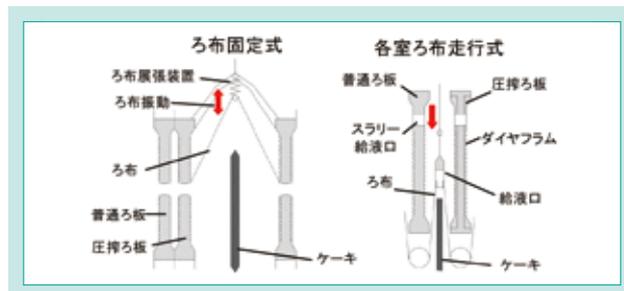


図2 ろ布固定式と各室ろ布走行式の違い  
Fig. 2 Difference Between Fixed Filter Cloth Type and Traveling Filter Cloth Type

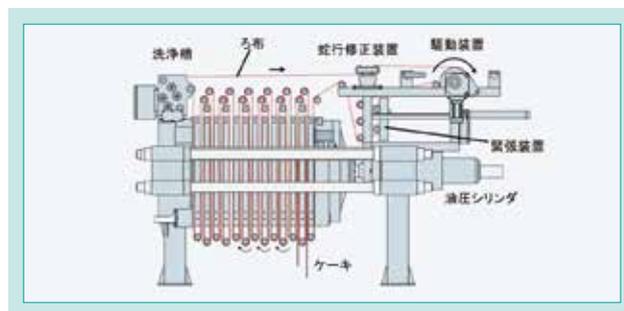


図3 開発機の構造  
Fig. 3 Structure of Developmental Model

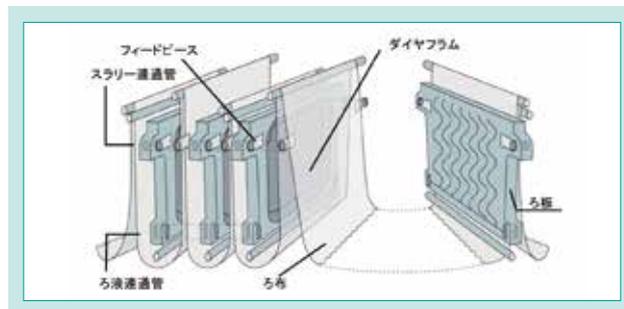


図4 ろ室の構造  
Fig. 4 Structure of Filter Chamber

圧搾水を引き抜いた後、全室同時に開板し、ろ布を走行させてケーキ排出すると同時に、ろ布洗浄を行う。

### 4-2 維持管理性の改善

#### 4.2.1 ケーキ排出の自動化

ろ布固定式は、薄いケーキや粘着性のケーキは排出が難しいとの指摘が多い。この場合、開板時にケーキを一枚一枚掻き落とす作業が必要となる。一方、開発機はろ板とダイヤフラムの排水溝の量に差を設け、また、ろ室内をエアブローし脱水ケーキをろ板側に付着させるようにした。その後、ろ布を走行させケーキを下方へ導き、ロール湾曲部を通過した際、ケーキを確実に排出するようにした。これにより、ユーザの掻き取り作業が不要となった(図5)。



図5 ケーキ排出の自動化  
Fig. 5 Automatic Dehydration Cake Discharge

#### 4.2.2 容易なる布交換

ろ布固定式や各室ろ布走行式は、ろ布一枚一枚を交換するため時間がかかり、しかも構造が複雑なため、熟練を要する。一方、開発機は、古いろ布と新しいろ布をレーシング(芯線)で接続し、古いろ布を駆動装置で逆転走行させることで、古いろ布の巻取りと新しいろ布の取付

けが同時に行える構造とした(図6)。この交換作業は熟練を要するものではなく、2人で×1時間でろ布交換が可能となった。各室ろ布走行式やろ布固定式に比べ作業工数を大幅に低減した(図7)。

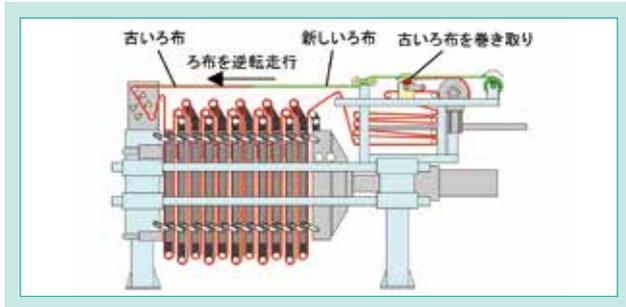


図6 ろ布の交換方法

Fig. 6 How to Replace with a New Filter Cloth

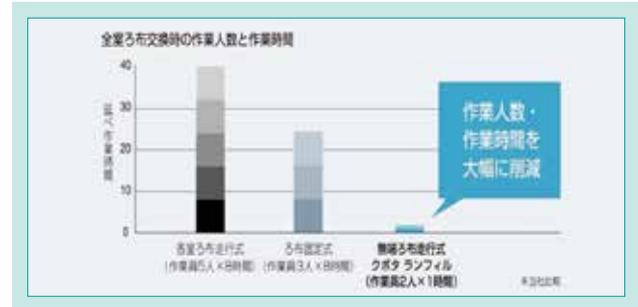


図7 ろ布交換時の作業人数と作業時間

Fig. 7 Number of Workers and Working Hours when Replacing with a New Filter Cloth

#### 4.2.3 容易な消耗品交換

ろ室への給液口とろ室からの排液口をろ板の外側に配置することで、フィードピースやパッキン類の交換作業をろ室内に入ることなく容易にできるようにした。また、フィードピースはろ板の開閉用リンクプレートに吊り下げる構造とし、取り外しての内部点検も容易となった(図8)。更に、パッキンはワンピース構造として、締結材を不要とした。



図8 フィードピース(給液口)、パッキンの容易な交換

Fig. 8 Easy-to-Replace Parts

#### 4.2.4 ろ布の長寿命化

ろ布固定式のろ布は、同一箇所をろ板間に挟み、同一面でも過/圧搾を行うため、比較的短時間でろ布の穴開きや目詰まりが発生する場合がある。一方、開発機はろ布の停止位置を毎回50～100mm程度ずつ移動させる制御を加えることで、ろ布の寿命化を図った。具体的には、ろ布のレーシング近傍に金属片を設け、検知センサにより位置制御を行った(図9)。また、ろ布は、厚みが1.3～1.9mmと厚く、引張強度の高いろ布を選定し、耐久性にも優れている。更に、ろ布固定式のろ布のような縫製加工(給液口や排液口の加工)が不要な分、長いろ布ではあるが低コストを実現した。

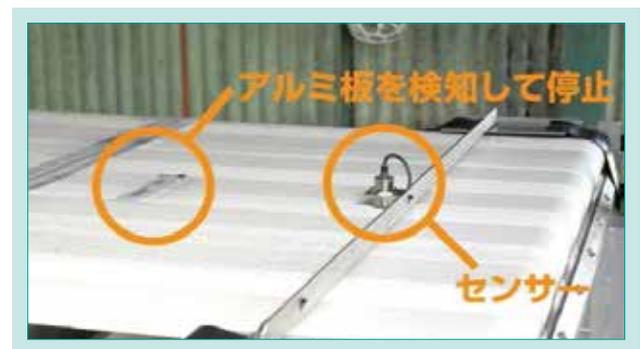


図9 ろ布の位置制御による長寿命化

Fig. 9 Long Life Achieved with Position Control of the Filter Cloth

#### 4.2.5 効果的かつ洗浄水の飛散がないろ布洗浄

ろ布固定式は、脱水後のろ布洗浄を片側だけの洗浄で、ろ布一枚一枚をろ板上で洗浄しているため、洗浄水の飛散している工場が多い。一方、開発機は、ろ布の両側洗浄を槽内で行うことで、効果的かつ洗浄水の飛散がないろ布洗浄を実現させた(図10)。また、槽底部にフラッシュノズルを設置することで、槽内に堆積したケーキを排出可能な構造とした。

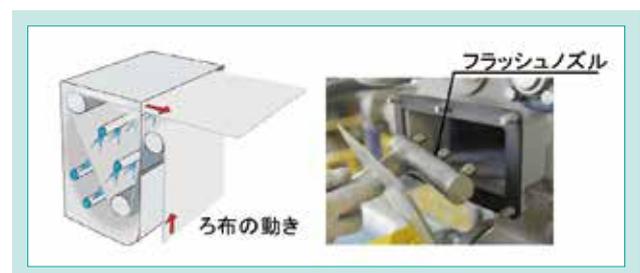


図10 ろ布の洗浄機構

Fig. 10 Structure of Filter Cloth Washing

### 4-3 コンパクト化

#### 4.3.1 超高压油圧システムの構築

開発機では、油圧圧力を21 MPa→70 MPaの超高压化に取り組んだ。汎用の21 MPaの油圧ユニットに、1:6の増圧ブースタを油圧シリンダの後部に取付けし、70 MPaまで昇圧させる構造とした。また、シリンダメーカーとともに70 MPa用の油圧シリンダを開発した。これにより、シリンダ口径はφ420 mmからφ225 mmと小さくなり、フレーム、油圧装置のコンパクト化を実現した(図11)。



図 11 超高压油圧システム  
Fig. 11 Ultra-high Hydraulic Pressure System

#### 4.3.2 ろ過速度の高速化

開発機は、全室同時に開板、ケーキ排出、ろ布洗淨の各工程を行うため、雑時間が4~10分とろ布固定式よりも大幅に短い。また、ロール部の湾曲部でケーキを排出させるため、薄いケーキでもよく、最もろ過効率が高いポイントでろ過を終了させて次の圧搾工程に移行できる。一方、ろ布固定式はケーキを排出するために一定のケーキ厚みが必要で、ろ過効率が低いポイントまでの長時間の圧入が必要となる(図12)。雑時間の短縮と効率的なろ過を行うことで、ろ過速度の高速化を実現した。

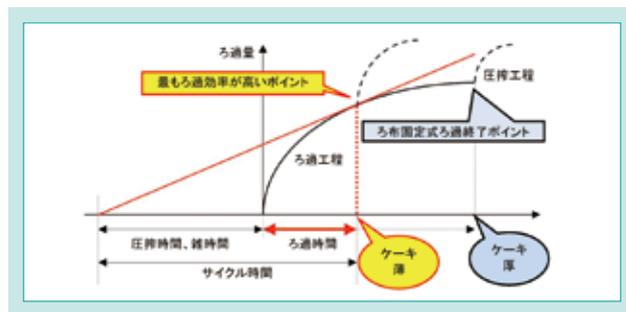


図 12 効率的なろ過工程  
Fig. 12 Efficient Filtration Process

以上の2つの効果より、小さな機械でもサイクル時間を短くし、運転回数を多くすることで、同じ処理量が処理でき

ようになり、ろ布固定式に比べて、機械サイズを一回りコンパクトにすることが可能となった(図13)。

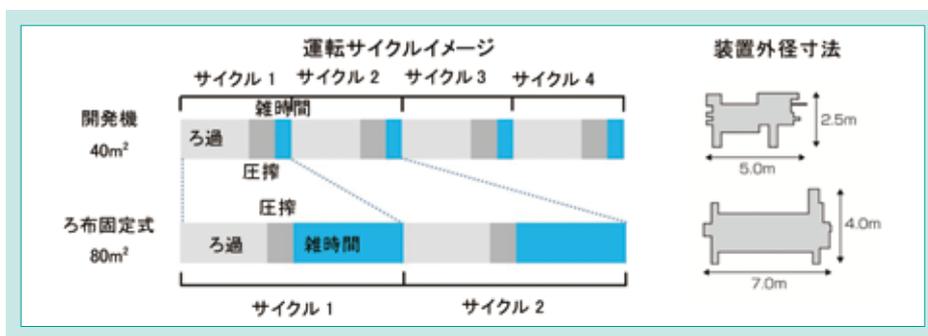


図 13 開発機とろ布固定式の運転サイクル、サイズイメージ図  
Fig. 13 Operating Cycle and Size Image View in Comparison Between Developmental Model and Fixed Filter Cloth Type

### 4-4 フレームの耐久性向上

開発機は耐久性向上と質量低減を兼ねる構造、加えてリードタイム短縮という観点から、従来の製缶構造から、溶接を行わない鋳物と丸棒の組合せとし、抜本的な構造変更に取り組んだ。構造解析で力の可視化を行い、許容応力を引上げ、応力の均等化を行った。図14に示すように、ピストンからの推力は、鋳物のリブで曲げモーメントとして負担し、サイドフレームに応力集中がなく効率的に伝播されている。これらの構造変更で、フレーム質量を従来機の40 m<sup>2</sup>機比較で30%低減させた。

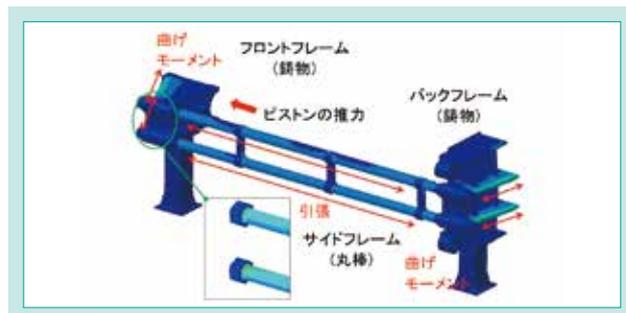


図 14 フレームの構造解析  
Fig. 14 Structural Analysis of the Frame

## 4-5 耐久試験

以上のように設計したフレームは、構造解析値と歪測定による実測値による応力評価を行った後、耐久試験機で設計寿命である45万回の繰り返し昇圧試験を行った。鋳物フレーム、丸棒、油圧シリンダが破損しないことを確認し、耐久性能を確保した(図15)。

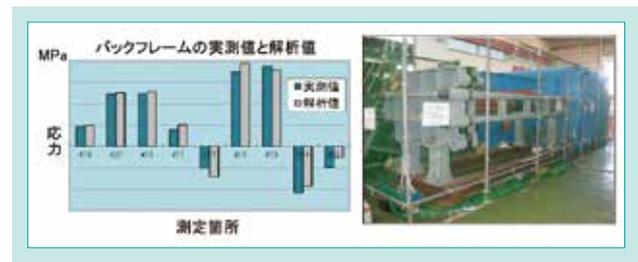


図 15 耐久試験の様子  
Fig. 15 Durability Test Equipment

## 5. 適用事例

### 5-1 自社工場への適用事例

自社の阪神工場(兵庫県)に1号機を納入(2012年3月)して約4.5年経過しているが、大きなトラブルもなく順調に稼働している。阪神工場はダクトイル鑄鉄管を製造しており、この製造過程で発生する排水を凝集沈殿処理した後の汚泥の脱水に開発機が活躍している。排水の主な成分は鑄鉄管のモルタル排水、鑄造塗型剤が混ざったものである。設計諸元を表2に示す。

比較的ろ過速度が速いスラリーである為、ろ過3分、圧搾1分、雑時間4分の約8分間/1サイクルで、ろ過速度は

表 2 設計諸元  
Table 2 Design Specifications

項目		開発機
ろ過面積		10 m <sup>2</sup> 機/4室
処理量	スラリー量	25 m <sup>3</sup> /日
	乾燥固形物量	1 tonDS/日
保証ケーキ含水率		65 %以下

### 5-2 その他の適用事例

某金属工場(茨城県)では排水設備の脱水機更新にあたり、含水率を低減し産廃処分費の削減を目的に開発機を導入した。表3にその導入効果を示す。含水率、ろ過速度とも大幅に改善している。<sup>1)</sup>

民間工場排水処理を事業分野とするクボタ化水(株)でも取扱いを開始し、自動車、金属工場を中心に、納入実績が増えつつある。これらの納入実績が新規顧客から信頼を得るための大きな財産となってきている。

## 6. おわりに

従来、フィルタープレスの運転管理、修繕には多くの手間と時間が費やされていた。こうした現場の労力軽減に開発機であるクボタランフィルは大きく貢献すると確信する。これまでの

17.3 kgDS/m<sup>2</sup>/hと高い性能で運転を継続している。図16に従来機と開発機の四季を通してのケーキ含水率の推移を示す。従来機の平均含水率64.4 %に対して、開発機は58.9 %と5 %以上低下し、かつ安定的に性能保証値65 %以下を継続している。含水率の低減によりケーキの産廃処分費も低減した。また、ろ布の交換サイクルは約7,000バッチでろ布の長寿命化も実現できた。

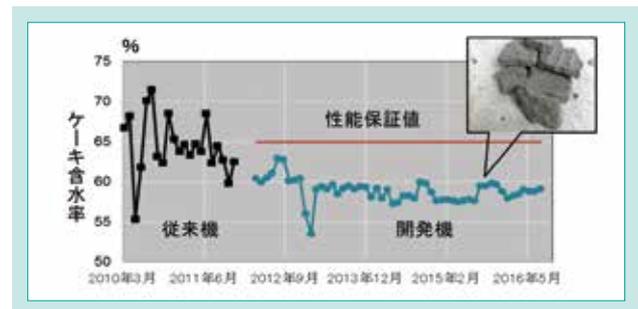


図 16 開発機と従来機との含水率の推移  
Fig. 16 Moisture Content Compared Between Developmental and Conventional Product

表 3 某金属工場の導入効果  
Table 3 Benefits in a Metal Factory

項目	単位	開発機	ろ布固定式
ろ過面積	m <sup>2</sup>	20	80
ろ室数	室	8	100
ケーキ含水率	%	40	50~60
ろ過速度	kgDS/m <sup>2</sup> /h	8	0.25
サイクル時間	時間	0.5	4

納入実績での経験を活かすことで、更なる事業領域を拡大していく所存である。

### 参考文献

- 1) 伊能二郎、辻野博:「無端ろ布走行式フィルタープレス」、環境浄化技術、Vol.14 No.1、(2015年1・2月号)、PP.42 ~46

# 機内二液調質に対応した直胴型遠心脱水機の開発

Development of the Inside Two-agent Conditioning System for Cylindrical Centrifugal Dehydrators

水処理システム技術部

下水処理場から発生する汚泥の減容化工程の中でも重要な役割を担う脱水機において、従来のデカンタ型遠心脱水機よりも大幅に脱水性能を向上できる「直胴型遠心脱水機」を改良し、更なる脱水性能の向上と省エネ化を目的として「機内二液調質に対応した直胴型遠心脱水機の開発」を行った。

本稿では、開発の背景・概要、開発製品の性能調査結果等、本研究の成果を報告する。

## 【キーワード】

直胴型、遠心、脱水機、機内二液調質、脱水性能、省エネ

Dehydrator have played an important role in the process of reducing volume of sludge at sewage treatment plants. We developed "Inside two-agent conditioning system for a cylindrical centrifugal dehydrator", developed by improving the cylindrical centrifugal dehydrator, which has far better dewatering performance than the conventional decanter centrifugal dehydrator. We aimed to further improve its dewatering and energy saving performance.

In this paper, we report on the research results, e.g., the background and overview of this development, and the results of surveying our customers with regards to the performance of this product.

## 【Key Word】

Cylindrical, Centrifugal, Dehydrator, Inside Two-agent Conditioning, Dewatering Performance, Energy Saving

## 1. はじめに

下水処理場等の水処理設備から発生する汚泥は、濃縮・脱水工程により減容化した後、更なる減容化と有効利用のために焼却等の後段設備へ送るか、そのまま場外へ搬出(産廃処分)される。いずれの形態においても、汚泥の脱水処理は不可欠であり、脱水性能(特にケーキ含水率)は、後段設備の建設・運転コストや、産廃処分費に影響する重要な要素となる。クボタは、従来のデカンタ型高効率遠心脱水機よりも脱水性能を向上させることを目的として2000年に直胴型遠心脱水機(図1)を開発<sup>1)</sup>・上市した。その結果、直胴型遠心脱水機は、2016年時点において67台の受注(処理量:5 ~60 m<sup>3</sup>/h、製作中を含む)を達成し、水処理事業における主力機種となっている。

近年、更なる脱水性能の向上と省エネ化のニーズに応える

べく、機内二液調質方式に対応した直胴型遠心脱水機の開発を行ったので、ここに紹介する。



図1 直胴型遠心脱水機

Fig. 1 Cylindrical Centrifugal Dehydrator

## 2. 機内二液調質対応直胴型遠心脱水機の概要

直胴型遠心脱水機はデカンタ型遠心脱水機と比較して、下記の特長がある<sup>(2)</sup>。

- ①ボウル形状を直胴型としたことにより、汚泥滞留時間及びケーキ圧密力・排出力を増大できる。
- ②脱水ケーキ排出部を隙間構造としたことにより、スクリーコンベヤによるケーキ圧搾力と排出部でのケーキ圧密力を増大できる。
- ③直胴型及び隙間構造により、脱水ケーキ含水率が最も低い(遠心効果が高い)、ボウル壁面の脱水ケーキのみを排出できる。
- ④スクリーコンベヤの駆動動力を油圧モータ(トルク一定制御)としたことにより、脱水ケーキ含水率が低い脱水ケーキを安定して排出できる。

図2に、機内二液調質対応直胴型遠心脱水機(以下「本脱水機」という。)の構造を示す。

今回開発した本脱水機は、上記の特長に加えて下記の特長も有する。

- ⑤無機凝集剤を機内で添加する機内二液調質による、更なる脱水性能の向上

従来は、高分子凝集剤一液で固液分離を行う方法が主流で、ほかに無機凝集剤(ポリ硫酸第二鉄:以下「ポリ鉄」という。)を添加してから高分子凝集剤を添加して脱水性を良くする二液調質法(以下「機外二液調質法」という。)もあった(図3)。

機外二液調質法は、最初にポリ鉄を汚泥に添加することによって汚泥粒子の電荷を中和し、小さなフロックを

作った後、次に高分子凝集剤を添加してフロック同士を繋げ(架橋)、大きなフロックを形成する。しかし、ポリ鉄を先に添加すると、汚泥中の液相とも反応して消費されてしまうため、添加したポリ鉄をフロック形成のために有効に使うことができなかった。

これに対して、機内二液調質法(図4)は、先に高分子凝集剤の架橋効果でフロックを形成し、水分をある程度除去した汚泥に対してポリ鉄を添加するため、液相と反応することなくフロック形成のために有効に利用でき、脱水性能を大幅に向上させることが可能になった。

対象汚泥は、最初沈殿池汚泥と最終沈殿池余剰汚泥を一定の比率で混合した混合生汚泥(以下「混合汚泥」という。)、混合汚泥を嫌気性消化した消化汚泥(以下「消化汚泥」という。)、主に小規模処理場で採用されるオキシデーションディッチ法から発生する余剰汚泥(以下「OD汚泥」という。)等と、幅広く対応できる。

- ⑥スクリーコンベヤ形状、差速装置等の検討による消費電力削減

機内二液調質法に対応する際、テーパ形状のスクリーコンベヤを採用し、更に中型機以下の機種は差速装置として使用する油圧ポンプの駆動方式を、固定速からVFD(Variable-Frequency Drive:可変電圧可変周波数制御)方式に変更する等の改良を行った。

これにより、単位消費電力(汚泥1 m<sup>3</sup>を処理するために必要な電力量)は、従来と比較して30%以上の低減(当社比)が可能になった。

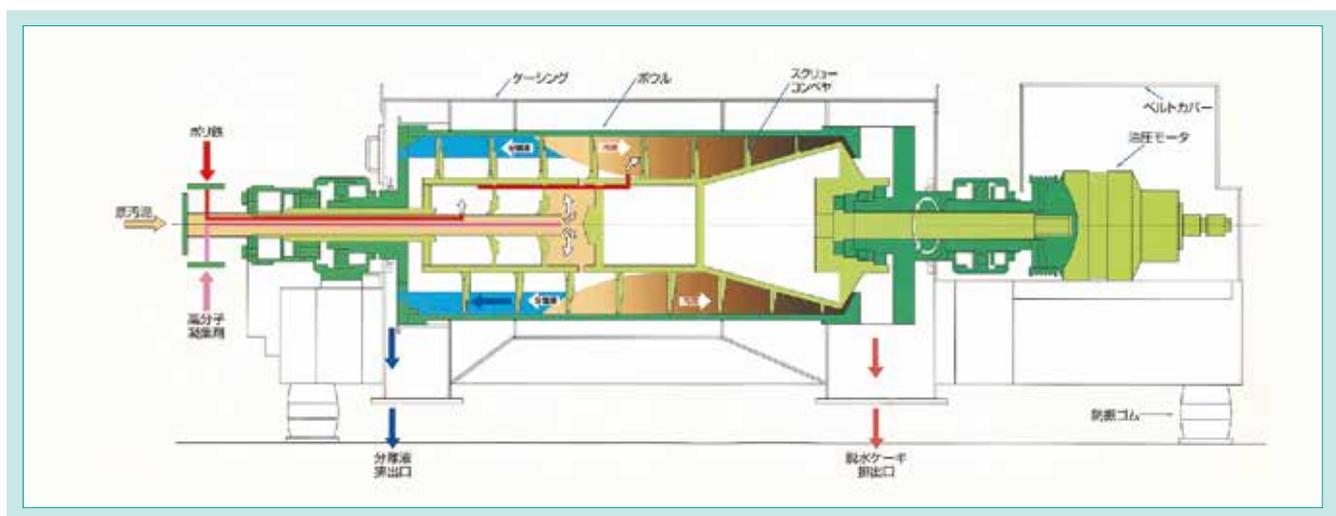


図2 機内二液調質対応直胴型遠心脱水機の構造

Fig. 2 Outline Figure of the Inside Two-agent Conditioning System for Cylindrical Centrifugal Dehydrator

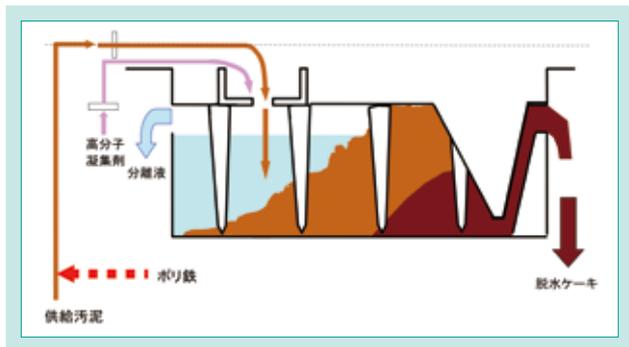


図3 従来方式（一液調質又は機外二液調質法）

Fig. 3 Usual Method

(One-agent conditioning or Outside Two-agent Conditioning)

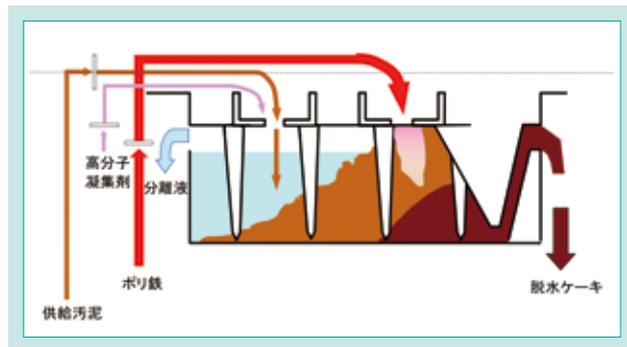


図4 開発方式（機内二液調質法）

Fig. 4 New Method

(Inside Two-agent Conditioning)

### 3. 脱水性能

#### 3-1 ケーキ含水率の低下

図5に、混合汚泥(A処理場)を対象としたポリ鉄添加率とケーキ含水率の関係を示す。一液調質(ポリ鉄添加率:0%)においては含水率:約75%であったが、機外二液調質ではポリ鉄添加率:20%において含水率:約70%と5ポイント低下し、機内二液調質では機外二液調質と同じポリ鉄添加率で含水率:約66%と9ポイント低下できた。これにより、発生ケーキ量は一液調質と比較して、機外二液調質で約17%、機内二液調質で約26%の減量化が可能になる。つまり、機外二液調質でも含水率低下は期待できるが、機内二液調質であれば同じ添加率で更に含水率を低下できることがわかる。

図6に、消化汚泥(同じくA処理場)を対象としたポリ鉄添加率とケーキ含水率の関係を示す。一液調質においては含水率:約82%であったが、機外二液調質ではポリ鉄添加率:35%において含水率:約76%と6ポイント低下し、機内二液調質では同じポリ鉄添加率で含水率:約71%と11ポイント低下できた。これにより、発生ケーキ量は一液調質と比較して、機外二液調質で約25%、機内二液調質

で約38%減量化できる。

図7に、OD汚泥(B処理場)を対象としたポリ鉄添加率とケーキ含水率の関係を示す。一液調質においては含水率:約82%であったが、機内二液調質ではポリ鉄添加率:15%において含水率:約78%と4ポイント低下できた。これにより、発生ケーキ量は約18%減量化できる。

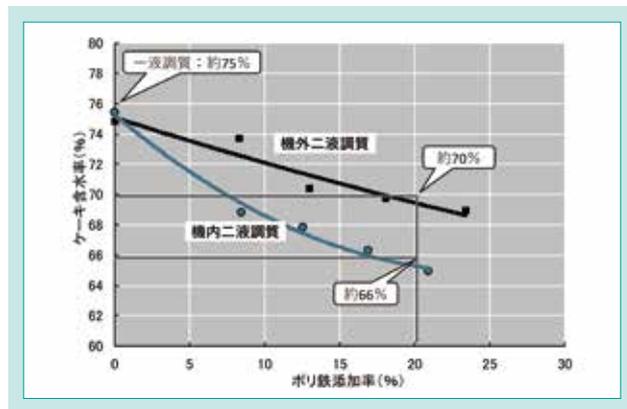


図5 脱水性能（混合汚泥）

Fig. 5 Dewatering Performance (Mixed Sludge)

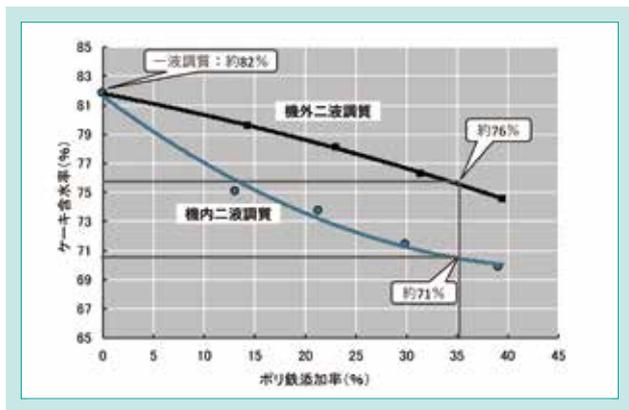


図6 脱水性能（消化汚泥）

Fig. 6 Dewatering Performance (Digested Sludge)

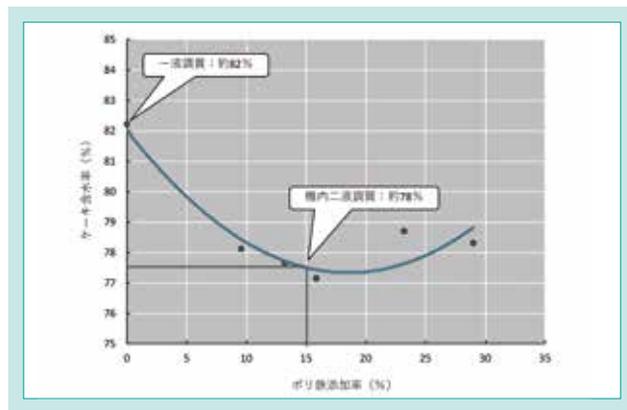


図7 脱水性能（OD汚泥）

Fig. 7 Dewatering Performance (OD Sludge)

表 1 脱水性能まとめ

Table 1 Summary of Dewatering Performance

処理場	供給汚泥性状				調質方法	薬注率		遠心効果 (G)	脱水性能	
	汚泥種類	汚泥濃度 (%)	VTS (%/TS)	繊維状物 (%/SS)		高分子 (%)	ポリ鉄 (%)		含水率 (%)	回収率 (%)
A	混合	2.8~3.2	86~89	18~33	一液	0.5	—	1500	75	98以上
					機外二液		20		70	
					機内二液				66	
	消化	1.6~1.8	70~72	5.0~7.3	一液	1.4	—	2000	82	98以上
					機外二液		35		76	
					機内二液				71	
B	O D	1.0~1.1	85~87	1.4~2.2	一液	1.1	—	2500	82	98以上
					機内二液		15		78	

※繊維状物は100meshの値を示す。

### 3 - 2 省エネ性能

図8に、消化汚泥(C処理場)を対象とした、一液調質における遠心効果と単位消費電力の関係を示す。単位消費電力は、汚泥1 m<sup>3</sup>を処理するために必要な電力量(単位: kWh/m<sup>3</sup>)を示す。

一液調質の場合、含水率:76%の低含水率運転(遠心効果:2,500 G)においても、単位消費電力は1.7 kWh/m<sup>3</sup>と低い電力での運転が可能であった。含水率を81%とした場合には、低遠心効果運転(1,000 G)により単位消費電力:0.8 kWh/m<sup>3</sup>と更に省エネ運転が可能であった。

図9に、消化汚泥(D処理場)を対象とした、機内二液調質における遠心効果と単位消費電力の関係を示す。

機内二液調質の場合、含水率:71%の低含水率運転(遠心効果:2,500 G)においては、単位消費電力:2.4 kWh/m<sup>3</sup>であったが、ケーキ含水率を73%とした場合には、遠心効果:1,400 Gにおいて単位消費電力:1.4 kWh/m<sup>3</sup>、ケーキ含水率を77%とした場合には、遠心効果:1,000 Gにおいて単位消費電力:1.0 kWh/m<sup>3</sup>の省エネ運転が可能であった。

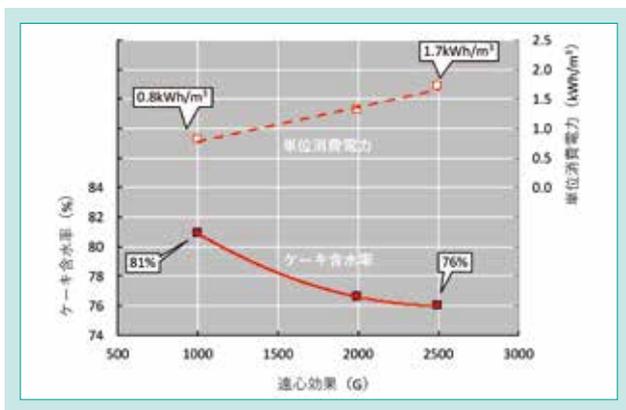


図 8 消費電力 (消化汚泥、一液調質)  
Fig. 8 Power Consumption  
(Digested sludge One-agent Conditioning)

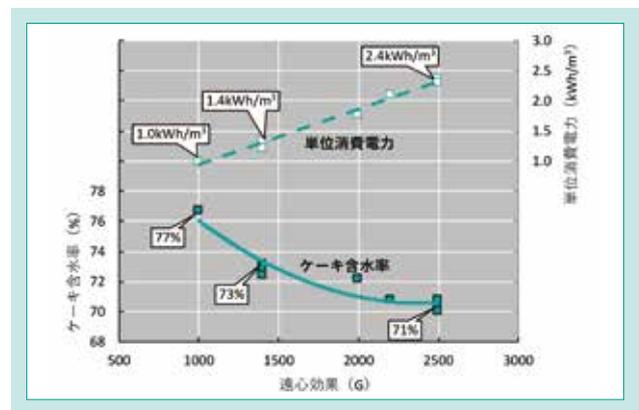


図 9 消費電力 (消化汚泥、機内二液調質)  
Fig. 9 Power Consumption  
(Digested Sludge Inside Two-agent Conditioning)

## 4. 公的評価

国内の下水処理設備において、各自治体への製品導入を推進するためには、公的機関による評価取得は重要な要素

となっている。以下に、本脱水機が取得した公的評価を示す。

### 4 - 1 日本下水道新技術機構 (共同研究)

約1年間の共同研究において、本脱水機の脱水性能と省エネ効果が認められ、2016年3月に「省エネ型汚泥処理シ

テムの構築に関する技術マニュアル」として発行された。

### 4-2 日本下水道事業団（共同研究）

研究名称：二液薬注による低含水率遠心脱水機の開発  
 共同研究期間：2011.4.1～2012.3.31  
 研究の目的：高分子凝集剤及びポリ硫酸第二鉄を添加した二液薬品注入による低含水率型遠心脱水機を開発し、日本下水道事業団の標準脱水性能として評価する。  
 調査結果：脱水性能を表2に示す。  
 脱水性能を調査した結果、表2に示す脱水性能を発揮できたことから、「機内二液調質型遠心脱水機」として認定された。

表2 調査結果（脱水性能）  
 Table 2 Survey Result (Dewatering Performance)

項目		消化汚泥	混合汚泥
TS		1.5～1.8%	2.8～3.6%
VTS		70～75%/TS	86～90%/TS
添加率	高分子凝集剤	1.3～1.4%	0.5～0.6%
	ポリ鉄	35%	20%
含水率	一液調質	81～82%	75～80%
	機内二液調質	71%	67～70%
SS回収率		98%以上	98%以上
消費電力（機内二液調質）		1.0～1.2 kWh/m <sup>3</sup>	0.9～1.4 kWh/m <sup>3</sup>

### 4-3 東京都（共同研究）

研究名称：超低含水率型脱水機の開発  
 共同研究期間：2013.8.30～2015.2.27  
 研究の目的：下水道施設での温室効果ガス排出量削減のため、脱水汚泥の水分量を低動力で一層削減し、年間の大部分を脱水汚泥含水率71%以下で、汚泥の性状が悪化した場合でも脱水汚泥含水率74%以下を達成する脱水機を開発を目的として実証機による性能試験を行う。  
 目標性能：目標脱水性能を、表3に示す。

本研究で目標とする超低含水率型脱水機は、年間の大部分を一液調質で運転するものであるが、汚泥性状が悪化した際にも目標脱水性能を満足できるように、機内二液調質に対応できる本脱水機を使用し、東京都内の水再生センターを実証フィールドとして四季における連続運転を行った。  
 基本的には一液調質による運転を行い、汚泥性状悪化時のみ機内二液調質による運転を行った結果、表3に示す目標脱水性能を満足できたことから、東京都下水道局様より「超低含水率型脱水機」として承認された。

表3 目標脱水性能  
 Table 3 Dewatering Performance Target

汚泥性状	濃縮汚泥	種別	混合汚泥		混合汚泥		
		汚泥濃度(%)	2.0以上	※1	1.3以上		※2
		有機分比(%)	88以下		90以下		
		繊維分(100 mesh)(%)	15以上		4以上		
脱水汚泥含水率(%)		71以下		74以下			
目標性能条件	凝集剤	種別	※3 カチオン系 高分子凝集剤溶液 (溶解濃度:0.2%程度)	※3 カチオン系 高分子凝集剤溶液 (溶解濃度:0.2%程度)	※4 無機凝集剤 ポリ硫酸第二鉄 (溶解濃度:11%程度)		
		注入率(%)	1.0以下		15程度		
	固形物回収率(%)		95以上				
	消費電力(kWh/m <sup>3</sup> )		1.5以下				

※1、※2：濃縮汚泥の種別を全て満たしている場合を指す。なお、※1及び※2両方の条件を満たしている濃縮汚泥については脱水汚泥含水率71%以下とする。  
 ※3：水再生センターで使用している凝集剤と同等品を目安とする。  
 ※4：高分子凝集剤のみで脱水汚泥含水率74%以下の達成が困難な場合に、無機凝集剤の添加を認める。

## 5. 経済性比較

流入下水量:100,000 m<sup>3</sup>/日規模の下水処理場(対象汚泥:消化汚泥)をモデルとして、従来の直胴型遠心脱水機(以下「従来機」という。)と本脱水機の、脱水処理工程におけるランニングコ

ストとCO<sub>2</sub>発生量を比較(従来機を100として指数で表示)した。

なお、脱水後のケーキは焼却するものとして、焼却処理に伴う費用及びCO<sub>2</sub>を考慮した。

### 5-1 ランニングコスト

図10に、従来機(一液調質)と本脱水機(機内二液調質)のランニングコスト(電気代、薬品代、脱水機補修費、ケーキ焼却費)比較結果を示す。

薬品代は、ポリ鉄を併用することにより従来機と比較して2倍近くの費用に増加するが、含水率を大幅に低減できることから発生ケーキ量が減り、ケーキの焼却費を約27%低減できる。

よって、トータルのランニングコストは、従来機よりも約7%節減できる。

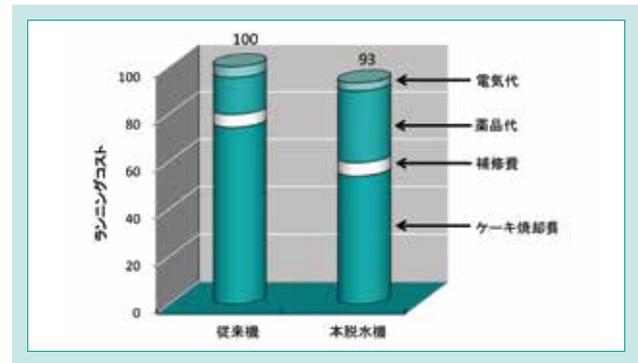


図 10 ランニングコスト比較  
Fig. 10 Running Cost Comparison

### 5-2 CO<sub>2</sub>発生量

図11に、従来機(一液調質)と本脱水機(機内二液調質)のCO<sub>2</sub>発生量(電気由来、薬品由来、ケーキ焼却)比較結果を示す。

CO<sub>2</sub>発生量についても、ポリ鉄を併用することにより薬品由来は従来機よりも1.5倍近くに増加するが、含水率を大幅に低減できることによって発生ケーキ量が減り、ケーキ焼却時のCO<sub>2</sub>発生量を約27%削減できる。

よって、トータルのCO<sub>2</sub>発生量は、従来機よりも約21%削減できる。

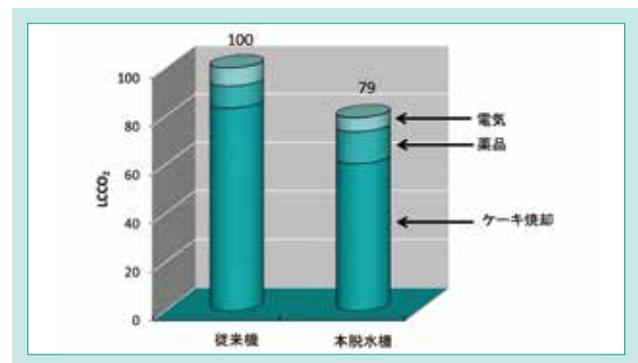


図 11 CO<sub>2</sub>発生量比較  
Fig. 11 CO<sub>2</sub> Comparison

## 6. おわりに

機内二液調質方式に対応した直胴型遠心脱水機の開発により、ケーキ含水率を大幅に低下でき、ランニングコスト及びCO<sub>2</sub>発生量の削減が可能であることを確認した。

今後も、お客様のニーズ(更なる脱水性能向上と省エネ化)

に合う脱水機を開発していく所存である。

なお本脱水機は、株式会社広島メタル&マシナリーとの共同開発製品である。

### 参考文献

- 鈴木登 他「直胴型遠心脱水機「スーパーセントリマスター」の開発」クボタ技報38号(2003)
- 水上浩良 他「超高効率型遠心脱水機の脱水特性について」第37回下水道研究発表会講演集(2000) PP.81

# Coフリーのスキッドボタン新材料（KNC09）の開発

Development of New Cobalt-free Material for Skid Buttons (KNC09)

素形材技術部

スキッドボタンは製鉄メーカーにおいて熱間圧延を行う加熱炉の炉床金物として使用される。本市場は新興国の需要増加により今後の拡大が予想される。一方、近年は競合他社製品のコストと品質の大幅な改善を背景に受注競争が激化している。また、国内市場では2013年に主原料の一つであるコバルト(Co)が国内労働安全衛生法<sup>1)</sup>の規制対象となり、Co基スキッドボタンを採用しない顧客が一部に見られ始めている。そこで、競合材に対抗できるコストパフォーマンスを備えかつCoフリーのスキッドボタン新材料(KNC09)の開発を行った。

【キーワード】

熱間圧延、Coフリー、Ni基材料、高温圧縮変形抵抗、高温酸化

A skid button is used as a hearth anchor in a hot rolling heating furnace of steel manufacturers. This market will expand in future due to demand in emerging countries. In recent years, on the other hand, competing manufacturers have been improving their quality and offering products at a lower cost. In addition, Cobalt (Co) became subject to regulations in Japan, namely the Occupational Safety and Health Act, in 2013, and as a result some customers do not like to use a Co-based skid button. Against this background, we have developed a new skid button material (KNC09) that is Cobalt-free and offers a good cost performance.

【Key Word】

Hot Rolling, Cobalt-free, Nickel-based Material, High Temperature Compression Deformation Resistance, High Temperature Oxidation

## 1. はじめに

スキッドボタンは製鉄メーカーの連続圧延設備(図1)にて熱間圧延を行うために鋼塊(以下「スラブ」という。)をウォーキングビーム式加熱炉で1300°C程度まで再加熱する際に、スラブを受ける炉床金物として使用される(図2、図3、図4)。加熱炉内は概ね予熱帯、加熱帯、均熱帯に区分される。クボタでは、予熱帯(~1100°C)、加熱帯(1100~1300°C)及び均熱帯(約

1300°C)で使用されるスキッドボタンの製造及び販売を行っている。使用されるスキッドボタンの材質は、予熱帯でFe基、加熱帯でKHR40CM (40Co-Cr-Ni)、均熱帯でKNC01 (Cr基)を推奨している。スキッドボタンの年間の販売個数は2015年度実績で約11,000個である。

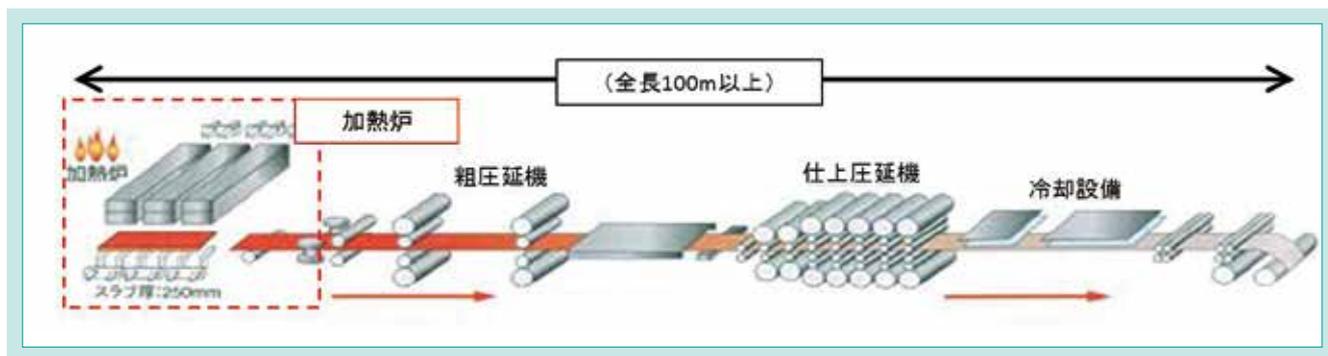


図1 連続圧延設備炉

Fig. 1 Continuous Rolling Facilities

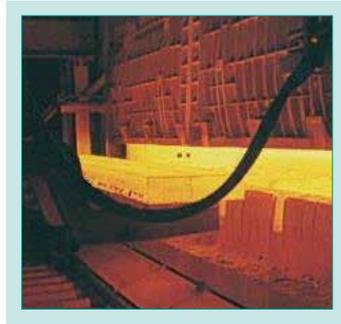


図2 加熱炉の外観  
Fig. 2 Appearance of Heating Furnace

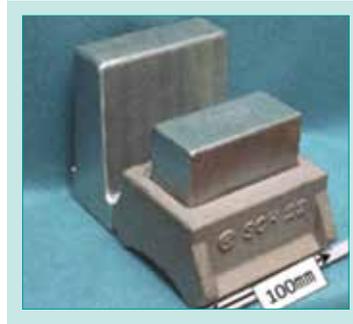


図3 スキッドボタンの外観  
Fig. 3 Appearance of Skid Button

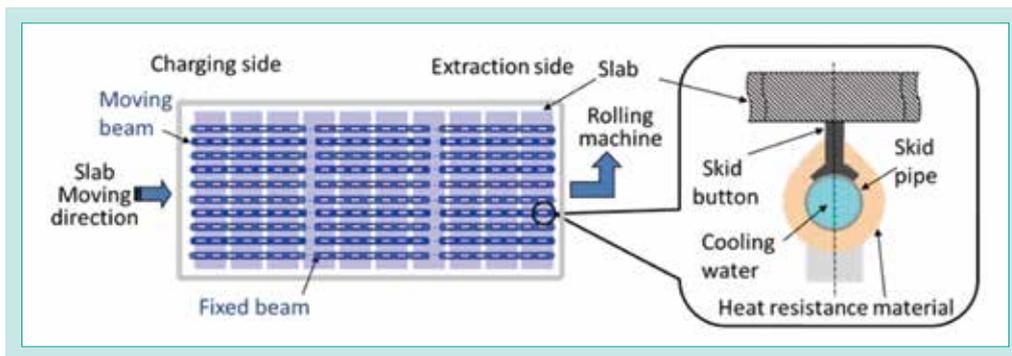


図4 ウォーキングビーム式加熱炉  
Fig. 4 Walking Beam Heating Furnace

スキッドボタンが使用される鉄鋼市場は近年の中国の需要減により景気の閉塞感があるが、中長期的な観点からは新興国の需要増加により、今後とも拡大する模様である。これに伴いスキッドボタンの市場(新設需要や更新需要)は緩やかに増加すると推察される。

しかしながらアジア地区、特に韓国や中国及び日本国内中小の鑄造メーカーのスキッドボタンのコストと品質の大幅な改善を背景に、クボタ従来材料のKHR40CMは競合他社製のKHR40CM相当材料(以下競合40CM)に対して価格競争力が低下する傾向にある。

スキッドボタンの需要動向は各社・各設備で大きくばらつき(大口の炉の新設や、炉の更新があった場合に受注が大きく増加する、等)、単純に需要の動向、シェアの傾向を見るのは難しいが、KHR40CMの受注量は徐々に低下している。特に国

内ではその傾向が強く、数年前より部分更新案件を通して、競合40CMが低価格を武器に日本国内加熱炉の実績を積み重ねつつある。そのため、その対応策としてのコスト競争力のある新材料開発が急務となった。

また、Coは2013年に国内労働安全衛生法の規制対象となった。労働安全衛生法は、職場における労働者の安全と健康を守り、労働災害を防止することを目的とする法律であり、製造工程等の管理が未規制の化学物質であって、がん等の労働者に重篤な健康障害を及ぼすおそれのあるものについて、労働者の当該物質へのばく露の状況等の情報に基づきリスク評価を行った上で必要な規制を行う法律である。

以上の事から、従来材料KHR40CMよりコストパフォーマンスに優れたCoフリーのスキッドボタン新材質(KNC09)の開発を開始した。

## 2. 開発のコンセプトと目標値

### 2-1 開発のコンセプト

開発材料は以下の開発コンセプトを設定した。

- ・性能: KHR40CM同等以上
- ・コスト(材料費): KHR40CM価格以下
- ・材質: Coフリー

また、製品の使用環境を図5に示す。今回開発する新

材料はKHR40CMの使用箇所の中でも特に加熱帯(1100~1300°C)をターゲットとした。このターゲットを選定した理由は、より高温となる均熱帯(図6参照)に対してクボタは高温特性に優れたKNC01などの材料を有し、また価格競争が激化している市場が加熱帯であることが挙げられる。

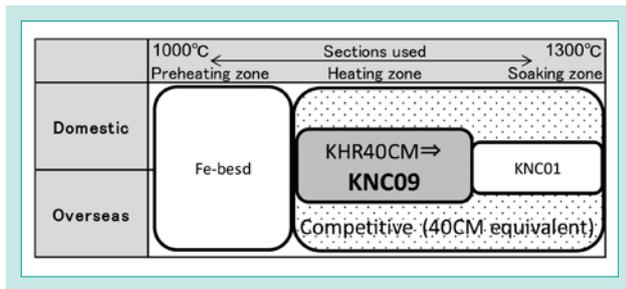


図5 使用環境毎の材料  
Fig. 5 Material of Each Usage Environment

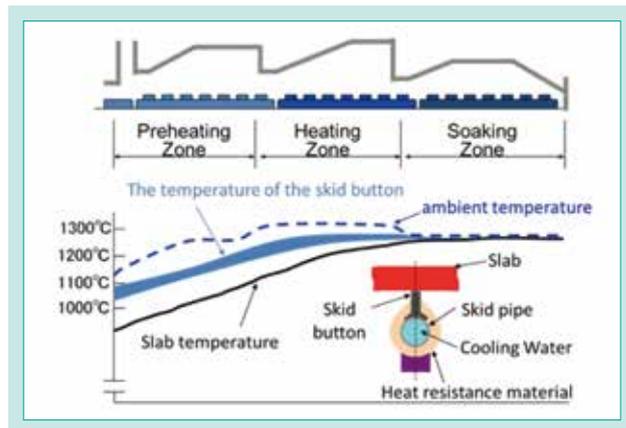


図6 スキッドボタンの使用環境  
Fig. 6 Usage Environment of Skid Button

2-2 目標値

スキッドボタンの基本機能は「炉中の高温雰囲気ですラブを支える」ことにある。基本機能を満足するための特性を開発課題とし、品質機能展開表を用いて品質特性重要度から、狙い、開発目標、具体策とともにまとめた(表1)。

コスト低減を狙いとして、Coフリーと同時に原材料単価が高いタングステン(W)の添加量の低減及び戻り材(製品を鍛造したときに発生する製品以外の部分)の使用を実施した。

次に各開発課題とその狙いを以下に記す。

- ①高温圧縮変形抵抗:スキッドボタンが高温域で圧縮

荷重を受けながらも形状を維持する必要があるため、変形の小さな材料が必要となる。

- ②高温酸化特性:スキッドボタンに発生した酸化物がスラブに傷を付けるために、酸化物の発生の少ない材料が必要となる。
- ③高温伸び:スラブが当たる衝撃でスキッドボタンが割れないように、高温伸びが高い材料が必要となる。
- ④高融点:加熱炉内の加熱帯で使用され、作業時の異常昇温に備え、過去の実績から、基準値(1365℃)より高いことを目標とする。

表1 開発目標  
Table 1 Development Goals

Aim	Dept. Subject	Dept. Goals	Specific Measure
Cost reduction	Low Raw Material Costs	≦ KHR40CM	Co free / Use of return material compounding / Decrease of high-cost element (W)
Maintain and improve of performance	Compression Deformation Resistance	KHR40CM ≦	Adjustment of the base elements (NiCrFe) / High temperature strengthening element (W)
	Oxidation Resistance	KHR40CM ≦	The addition of an effective element (Ti,Zr) for oxidation resistance
	High Temperature Elongation (at 600°C)	KHR40CM ≦	Balance of basic material (NiCrFe)
	High Melting Point	1365°C ≦	Low-C, Low-Si

3. 解決すべき技術課題

Co基スキッドボタン材料であるKHR40CMは、国内外の加熱炉の加熱帯から均熱帯の幅広い温度域において、優れたコストパフォーマンスを有しており、これまで多数採用されてきた。しかしながら、先に記した通り、近年、競合40CMがクボタの市場を侵食している。また、2013年にCoが国内労働安全衛生法

の規制対象となり、Co基スキッドボタン材料を採用しない顧客が一部に見られ始めている。

そこで、上記開発コンセプト(2章1節)を設定し開発を開始した。開発に当たり、①合金設計、②開発期間の短縮、③高温域での適切な評価、を技術課題とした。

## 4. 開発技術

### 4-1 合金設計

#### 4.1.1 合金設計

合金設計はこれまでの材料開発で得た知見に基づき、次の5項目を考慮して実施した。

- ①スキッドボタンは高温で長時間使用されることから、その性能は平衡状態組成に関連すると仮定し、KHR40CMと似た平衡状態組成となる合金設計について解析技術を用いて探索した(詳細は次項目)。ただし、制約条件として低原材料費(KHR40CM価格以下)を設定した。
- ②炉中の低温域(600℃付近)での高温伸びを維持するた

#### 4.1.2 解析技術を用いた評価

開発は、まず比較材であるKHR40CMをThermo-Calc<sup>注)</sup>(熱力学データベースを利用し熱力学平衡計算及び状態図計算を行うためのソフトウェア)で評価した(図7)。この解析でKHR40CMの成分組成にて、規格内のCr量に対する温度毎に析出する組織及び融点(固相線)を確認した。解析結果より、 $\sigma$ 相とよばれる脆性組織の析出温度が分かった。開発材料の合金設計では $\sigma$ 相を使用温度で析出させないことが重要な点になる。

またスキッドボタンは、融点直下の高温で使用されるため、融点(固相線)が基準値(1365℃)よりも高いことが、

め、クロム(Cr)基ではなくニッケル(Ni)基とした。

- ③Co基材料と比べて高温圧縮変形抵抗の維持向上のため、設定した原材料費を超えない範囲でタングステン(W)量の上限を設定し、また耐酸化性が劣るモリブデン(Mo)は回避した。
- ④高温で使用されるため、操業時の異常昇温に備え、高融点化を図るべく炭素(C)と珪素(Si)を低減した。
- ⑤耐酸化性の維持向上のため、耐酸化性に有効と思われる元素チタン(Ti)、ジルコン(Zr)を微量添加した。

重要な特性の一つになる。よって開発材料の主要成分でKHR40CMと類似の組織を析出させ、特性を確保することを目指した。

更にクボタで蓄積したノウハウに基づき、微量添加元素にてKHR40CMを上回る特性を付加させることを試みた。

図8に最終的に得られた開発材KNC09の解析結果を示す。融点(固相線)がKHR40CM同等程度の温度であり、 $\sigma$ 相の析出温度がKHR40CMと同程度であり、使用温度で析出しないことが分かる。

注)Thermo-CalcはThermo-Calc Software AB社の商標

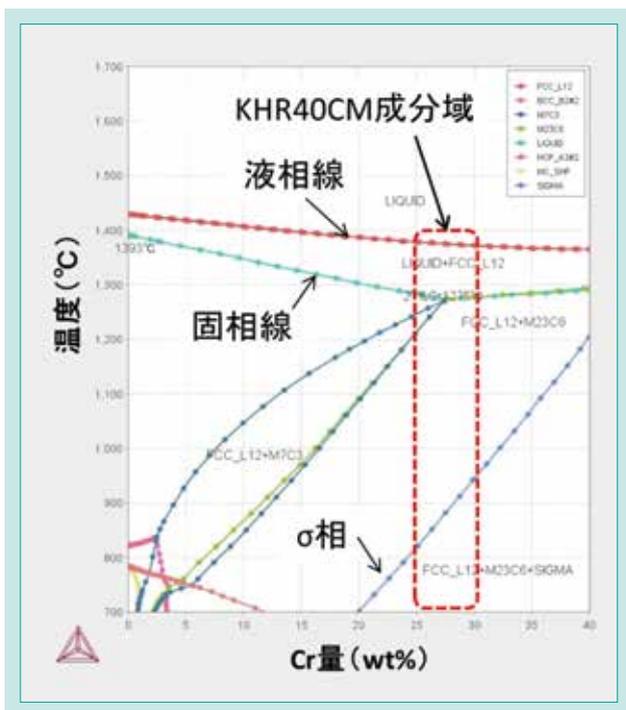


図7 KHR40CMの解析結果  
Fig. 7 Analysis Results of KHR40CM

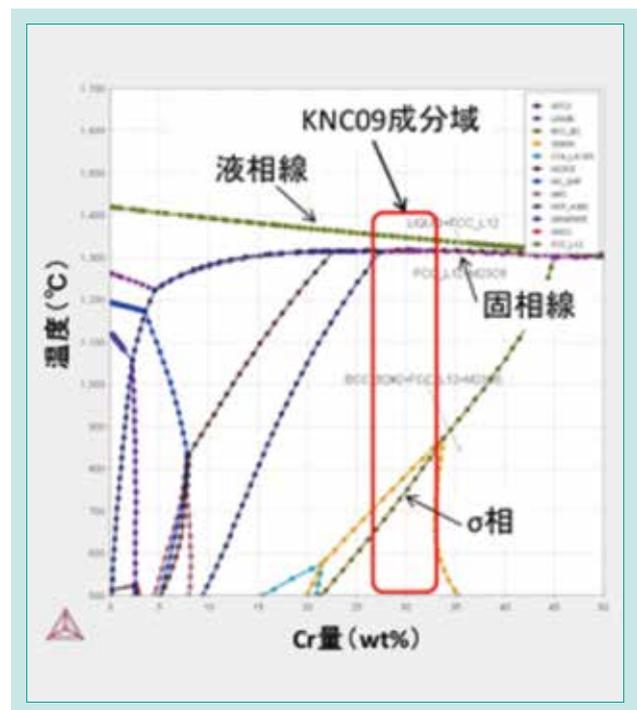


図8 KNC09の解析結果  
Fig. 8 Analysis Results of KNC09

## 4-2 解析技術を用いた評価数の増加

本開発では特性を得るための添加元素が多く、最適化のために試行回数が多くなり、開発期間が長くなることが課題であった。

そこで開発材料の評価はThermo-Calcを用いることで解析での試行回数を増やし、実鑄造の試験数を減らしながらも、従来方法での実験と比較し供試材料の評価数を増加させた(具体的には従来方法では9か月かけて40~50

試料程度の評価。今回の方法では6か月で400試料以上の評価)。

更に解析を使用するときには、解析から得られたデータを盲信せず、現有するデータと比較しながら整合性の確認を行った。実鑄造では解析にて有望な成分を絞り、その中から実際に鑄造を行い、破壊調査を実施した。

## 4-3 高温域での試験評価

スキッドボタンは実機にて高温でスラブが衝突する特殊な環境下にある。実機での現象を適切にラボで再現するための評価方法として、スキッドボタン特有の高温

(~1300°C)での繰返し荷重を与える影響を調査した。試験は設備を準備し適切な変形を行い、実機に沿っているか評価し、開発材料の変形抵抗を調査した。

## 4-4 試験結果

### 4.4.1 コスト(材料費)分析及び融点測定結果

開発材料(KNC09)の成分は、「50Ni-Cr-W」とした。開発材料のコスト(材料費)評価結果を表2に示す。コスト(材料費)は従来材料を1としたとき、開発材料は0.57と、

目標値である従来材料以下となった。また、開発材料の融点は示差熱分析にて調査を行い、目標値を満足していることを確認した(表3)。

表2 コスト(材料費)評価結果

Table 2 Cost (Material Cost) Evaluation Results

		Material Cost	Evaluation
Conventional Material	KHR40CM	1.00	-
Development Material	KNC09	0.57	○

表3 融点測定結果

Table 3 Melting Point Measurement Result

		Melting Point (°C) (target: 1365°C ≤)	Evaluation
Conventional Material	KHR40CM	1412	○
Development Material	KNC09	1380	○

### 4.4.2 高温圧縮変形抵抗

図9に高温圧縮変形抵抗試験の結果を示す。圧縮変形抵抗は図10、図11に示す装置及び試験条件<sup>2)</sup>(炉内温度:1300°C、試験片温度:1230~1260°C、試験片試験応力:1.0kgf/mm<sup>2</sup>、試験回数:30,000回)にて実施した。試験結果は、材料毎の変形率の平均を取り、比較した。開発

材料は、従来材料よりも低い変形率を示した。変形率は、スキッドボタンが高温域で圧縮荷重を受けながらも形状を維持する必要があるため、変形の小さな材料が優位である。これはCo基の代わりにNi基+Wを用いることで高温での強度が増し、耐圧縮変形抵抗が向上したためである。



図9 高温圧縮変形抵抗試験結果  
Fig. 9 Results of High-temperature Test

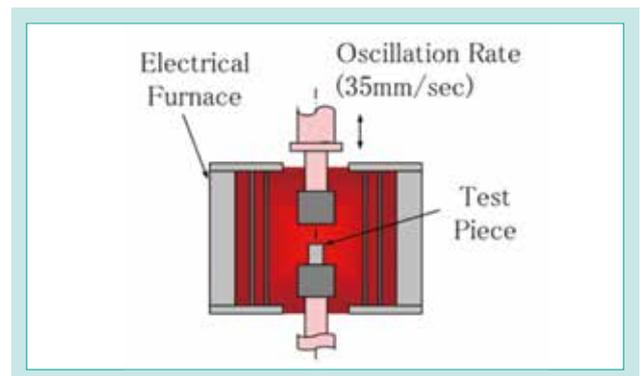


図10 高温圧縮変形抵抗試験装置  
Fig. 10 High-temperature Compression

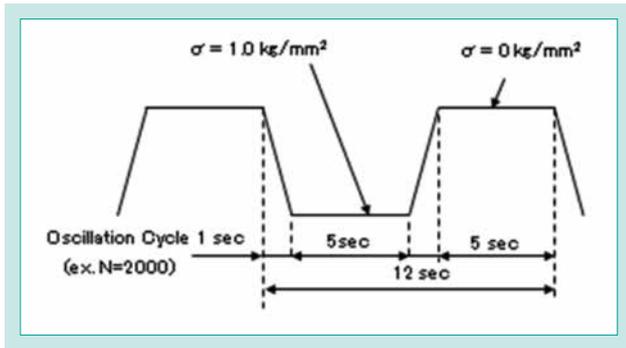


図 11 高温圧縮変形抵抗試験の条件

Fig. 11 High-temperature Compression Deformation Resistance Test Conditions

#### 4.4.3 高温酸化特性

図12に高温酸化特性の結果を示す。酸化特性は大気雰囲気中で試験温度1300℃にて、酸化減量を調査した。酸化減量は平均酸化速度が遅いほど少なくなる。スキッドボタンは、発生した酸化物が剥離等の原因でスラブに傷を付けるために、酸化物の発生及び減肉の少ない材料が

#### 4.4.4 高温引張試験結果

図13に高温引張試験の破断伸びの結果を示す。高温延性は、スラブが当たる衝撃でスキッドボタンが割れないように、高温伸びが高い材料が必要となる。開発材料は、600℃で目標値14%以上を達成した。他の試験温度でも14%を下回ることなく、従来材料同等以上の結果を得た。これは、Cr量の上限を決めたことで、高温域にて十分な延性を確保したためである。



図 12 高温酸化試験結果

Fig. 12 Result of High-temperature Oxidation Characteristics

必要となる。よって、酸化減量が少ないほど良い結果となる。図12より開発材料は、従来材料に比較し良好な結果を得た。これは、基材を耐熱性に優れるNiを使用しCr添加量を増加させ、更に耐酸化性に有効なTi、Zrを添加することで、高温酸化特性が向上したためである。

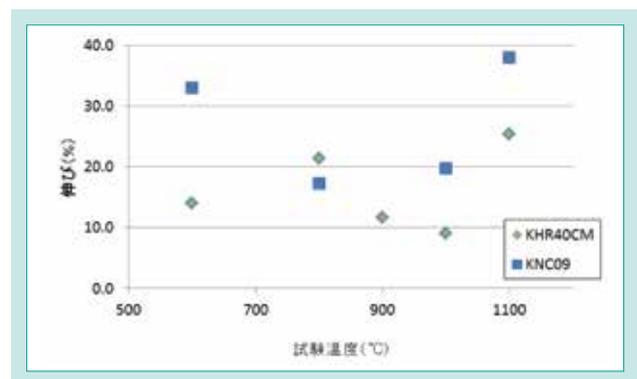


図 13 高温引張試験結果

Fig. 13 Results of High-temperature Tensile Test

## 5. おわりに

従来材料KHR40CMよりコストパフォーマンスに優れかつCoフリーのスキッドボタン新材質(KNC09)を開発した。

開発ではThermo-Calcにクボタの過去の知見から得たノウハウを合わせ、試作を繰り返した。シミュレーションを活用し、 $\sigma$ 相、融点及び材料コストに焦点を当て、候補材を絞り込むことで効率的に開発を推進することができた。その結果、従来の開発プロセス(材料設計、鑄造、加工、試験)に比較し、大幅に開発期間及びコストが削減した。また、各種特性に関しても、開発材料は従来材料に比較して、低温(600℃)から高温(1100℃)までの伸びは同等以上で、高温圧縮変形抵抗及び

高温酸化特性は従来材料よりも優れた特性を有している。更に、化学物質のリスクを抑えるためにCoフリーを実現し、W量の低減などによる低材料費を達成することができ、開発目標の全項目を達成した。

スキッドボタンは鉄鋼市場での基幹部品であり、日本のみならず世界各国で使用されている。開発材料はコスト優位性とCoフリーによる安全性を武器に国内外の市場への展開を狙う。

今後もこれまで培われてきた経験や知見と先進技術を使い、ユーザとクボタのメリットを高める材料を開発していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省:「化学物質のリスク評価を踏まえた政省令改正の内容について」
- 2) Hiroshi Yamaguchi, Yoshihide Shida, Shinji Amako, AISE(2006)

## ZEB 向け調湿外気処理ユニットの開発

Development of Desiccant Outdoor Air Ventilation Unit for ZEB (Net Zero Energy Building)

クボタ空調株式会社 研究開発部／計測制御技術センター

経済産業省資源エネルギー庁から「ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(以降ZEBと称す)ロードマップ」が発表されるなど、わが国ではZEB普及に向けた取り組みが加速している。

今回、ZEB普及に向けた空調システム用としてデシカント空調技術を応用し、太陽熱や地中熱などの再生可能エネルギーを活用できる「調湿外気処理ユニット」を開発した。本空調機では、新構造の流路切替え兼用吸放湿モジュールの開発と全熱交換器性能の改善を実現し、省エネ化の推進とともに快適性を高めるため除湿性能向上を追及した。また、普及に向けて天井内に設置可能な大きさを実現することで、従来の空調機を納める機械室を不要とし、既存建物のリニューアル工事にも容易に対応することを可能とした。

## 【キーワード】

デシカント空調、潜顕熱分離空調、外気処理、ZEB、全熱交換器

In Japan, the "ZEB (Net Zero Energy Building) Roadmap" has been announced by the Agency for Natural Resources and Energy, a section of the Ministry of Economy, Trade and Industry. Greater efforts are being made to promote ZEB in the country. We have developed an outdoor air ventilation unit that utilizes renewable energy such as solar and geothermal heat for ZEB. With this air conditioner, we developed a newly constructed flow channel switching, moisture absorbing/desorbing module and enhanced the total heat exchanger performance. We also improved the dehumidification performance in order to further enhance comfort. This product needs to be sufficiently small to be fitted on a ceiling in order to become popular. It does not require a machine room, in which conventional air-conditioning equipment is installed. We also ensured it can be easily installed in an existing building that is being renewed.

## 【Key Word】

Desiccant Air Conditioning, Latent Sensible Heat Isolation Air-Conditioning, Outside Air Processing, ZEB, Total Heat Exchanger

## 1. はじめに

ZEBとは、建築構造や設備の省エネルギー化の推進、再生可能エネルギー・未利用エネルギーの活用などの対策をうまく組み合わせることによりエネルギーを自給自足し、年間を通して建物内のトータルのエネルギー消費量が概ねゼロとなる建築物のことをいう。

ZEB化に向けた研究開発の方向性を図1に示す。ZEBの普及が予想される2020年以降は、高効率な照明機器やOA機器、無駄な機器稼働を省くための制御技術が普及し、内部発熱が大きく削減されると予測される(①)。内部発熱が減ると冷房負荷が減る一方で、これまで暖房負荷を相殺していた発熱も減ることになるため、建築ファサード(建物の外観を構成する面)の高

断熱化や高気密化が重要になる(②)。また、空気質を維持するための換気は必要であることから、取入外気を高効率に処理することも重要になる(③)。室内温熱環境の面では、室内の冷房負荷が減少すると、空気の冷却操作に伴う除湿が期待できなくなることから、温度と湿度の調整をそれぞれ行えることが重要になる(④)。太陽光発電や太陽熱などの再生可能エネルギーを利用することでZEBを実現する(⑤)。

今回開発した調湿外気処理ユニットは「③高効率な外気処理」と「④湿度調整」、「⑤再生可能エネルギーの利用」に対応すべく開発を行なったものであり、更には普及阻害要因となる機器本体の大きさを改善すべく小型化を目指したものである。

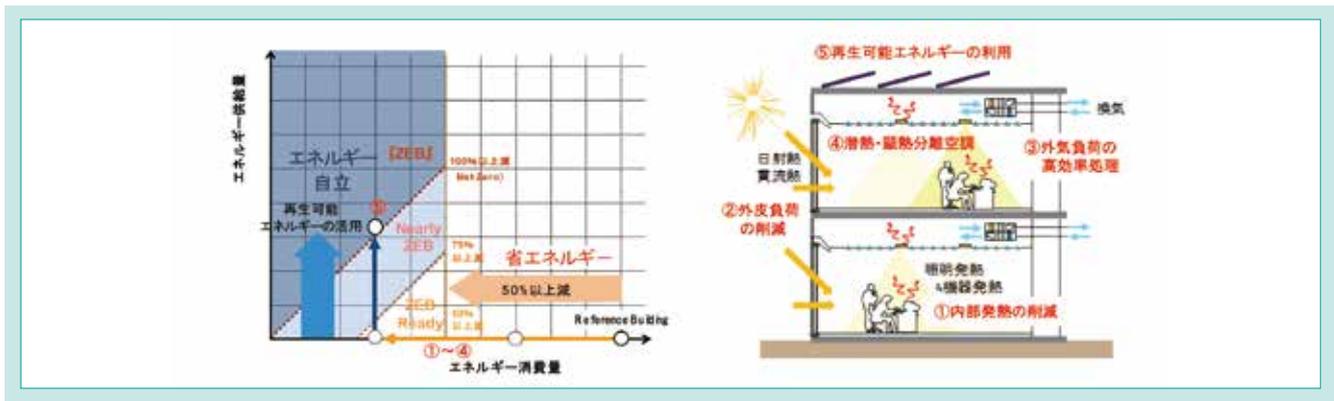


図1 ZEB<sup>1)</sup>の普及に向けた研究開発の方向性

Fig. 1 Direction of Research and Development for Spread of Zero Energy Buildings

## 2. 開発のコンセプトと目標値

### 2-1 開発のコンセプト

近未来の事務所ビルでは、パソコンやその他のOA機器に省エネモデルの採用が進むことにより、室内の冷房要求が減少する。これに応じて冷房能力を削減すると十分な冷房による除湿が期待できなくなることから、室内を快適に保ち、知的生産性を向上させるためには、別の調湿機能が必要となる。調湿機能としては、吸湿材を使用し空気から直接水分を吸収する方式を採用し、吸湿後の再生(乾燥)には再生可能エネルギー(太陽熱)を活用したシステムが有効と考え、ZEB向け外気処理ユニットとして下記のコンセプトを決定した。

- (1) 吸放湿ブロックによる高性能な調湿機能
- (2) 吸放湿ブロックの再生に太陽熱を活用
- (3) 全熱交換器による省エネルギー
- (4) 天井内設置を想定した小型ユニット

図2にこれらのコンセプトをもとに検討した「調湿外気処理

ユニット」の構想図を示す。調湿外気処理ユニットは吸放湿モジュールと全熱交換モジュールを組み合わせたユニットである。太陽熱を有効活用した調湿機能と全熱交換機能を装備することで外気処理効率を飛躍的に高めている。夏期の室内条件は、クールビズでの推奨設定温度28℃において快適性を考慮し相対湿度40%を実現することとした。



図2 「調湿外気処理ユニット」の構想図

Fig. 2 Concept Diagram of Outside Air Processing Unit

### 2-2 開発目標

#### (1) 吸放湿モジュール

##### ① 除湿性能

開発する吸放湿ブロックの除湿性能は、太陽熱の活用も含め絶対湿度5.5g/kg<sup>1)</sup>(乾燥空気1kgにつき混合する水蒸気量を示す)以上の除湿量(ゼオライト系ロータ比150%)に設定した。また、送風動力低減のため圧力損失90Pa以下(ゼオライト系ロータ比20%減)に設定した。

##### ② 流路切替装置

吸放出モジュールは2個のブロックを使用し、交互に除湿と再生を繰り返すバッチ方式であり、ダンパなどの流路切替装置が必要となるが、本開発では小型化のために吸放湿モジュールと流路切替装置の一体化を

目標とした。

#### (2) 全熱交換効率

全熱交換モジュールは室内からの還気と取り入れる外気とを熱交換するもので、熱交換効率は外気処理の効率化において重要となる。特に調湿性能に影響が大きい潜熱交換効率において60%以上(無孔系超薄膜素材比120%)を目標とした。

#### (3) ユニットの小型化

室内の天井内に設置することが可能な空調機サイズを目標とするため、ユニットの高さを450mmとした。内部の構成機器については、気流の均一化に配慮した配置とする必要がある。図3に構成機器の配置概略を示す。

[空調機サイズ：2,500mm×1,050mm×450mm以内]

(4) 制御機能搭載

通常、ビルなどのセントラル空調における制御システムに関しては、空調機メーカーではなく専門の計装業者が担当しているが、本開発では安定した調湿機能を実現するため、自社で制御ユニットとソフトを開発した。調湿外気処理ユニット内にはセンサや流量調整弁などの各種制御機器を内蔵するとともにPID制御を基本としたソフト開発と最適なパラメータ設定を行うこととした。

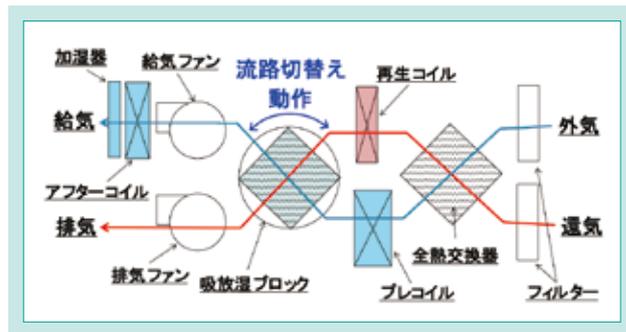


図3 「調湿外気処理ユニット」の構成  
Fig. 3 Configuration of Outdoor Air Ventilation Unit

3. 解決すべき技術課題

本開発における解決すべき技術課題を以下に述べる。

- (1)「吸放湿モジュール」の除湿量を向上させる為に、吸放湿ブロックのハニカム高さや、通過面風速、2個のブロックの除湿状態と再生状態の切替え間隔などの条件設定。
- (2)「流路切替装置兼吸放湿モジュール」における吸放湿ブロックの気流方向に配慮した切替え装置及び駆動部も含めた機構設計。

- (3)「全熱交換器」において、全熱交換効率(特に潜熱交換効率)を向上させるため、高分子収着剤透湿膜の新規採用及びハニカムサイズなどの条件設定。
  - (4)ユニットの給気温度、還気湿度を安定して制御する温湿湿度制御方式の確立。
- 以上の課題解決を中心に開発を進めた。

4. 開発技術

4-1 「吸放湿モジュール」の開発

「吸放湿モジュール」の構成部材である吸放湿ブロックには高分子収着剤を採用した。無機系のゼオライトやシリカゲルと比較して高湿度下における吸湿能力が高く、比較的低温で再生しやすいという特徴を持っている。

この高分子収着剤を塗布した素子をハニカム状に成形し、吸放湿ブロックを構成している。本開発の調湿外気処理ユニットは左右2個の吸放湿ブロックを搭載する。目標達成のため、熱・水分同時移動シミュレーションと実験からブロックの表面積・奥行・ハニカム(コルゲートとライナー)形状・流路の切替え間隔などの条件を評価し仕様を決定した(図4)。

吸放湿ブロックの除湿能力については、経過時間に対して除湿量が落ちていく傾向にあり、平均除湿量が目標を上回っている状態で除湿側と放湿側の流路を切替える必要がある。吸放湿ブロックの除湿能力と時間推移については実験で確認し、夏期空気条件下において平均除湿量が5.5g/kg<sup>1</sup>を上回っている時間は4分であることが確認できた。(図5)

吸放湿ブロックの性能評価結果より、本開発の調湿外気処理ユニットに搭載する吸放湿モジュールの仕様は、「吸放湿ブロックサイズ:250mmX250mmX480mm(2個),コルゲート高さ:1.9mm,流路切替え時間を4分間隔」と決定した。

構造設計上ブロックをできるだけ大きくすることで通過風速を低くすることができ、圧力損失は40Paと目標を達成した。

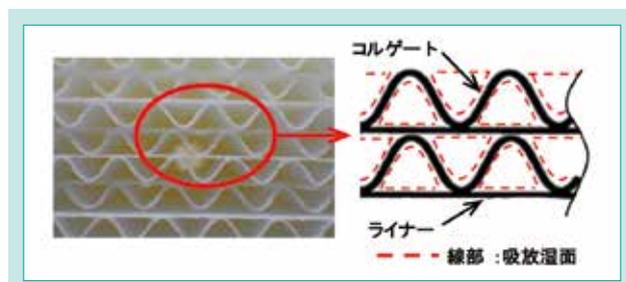


図4 吸放湿ブロック高分子収着剤素子詳細  
Fig. 4 Desiccant Block Polymer Sorbent Details

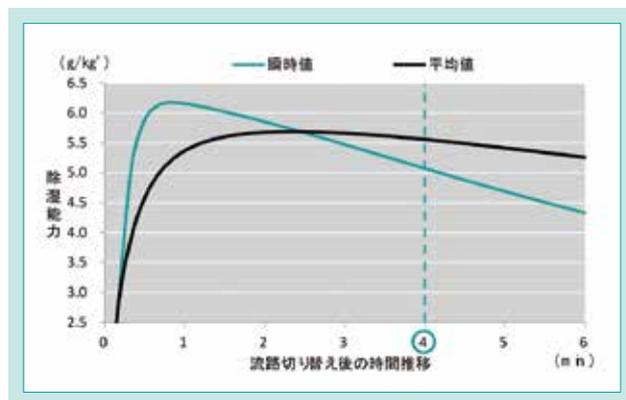


図5 吸放湿モジュール流路切替え時間の推移  
Fig. 5 Changes in Desiccant Module Switching of Air Flow Path Time

### 4-2 「流路切替え兼吸放湿装置」の開発

「流路切替え兼吸放湿装置」の構成を図6に示す。今回検討した流路切替え兼吸放湿装置では形状を横長のドラム型とし吸放湿モジュールを回転駆動させることで、1個の電動部品にて短時間で除湿側空気流路と放湿側空気流路を切替える構造とした。

流路切替え兼吸放湿装置では、吸放湿ブロックを2個搭載しており、吸湿空気と放湿空気の流路を切替えるために、通気面と閉鎖面を90度相対させている。効率よく除湿を行うため、再生空気入口→除湿出口、除湿入口→再生

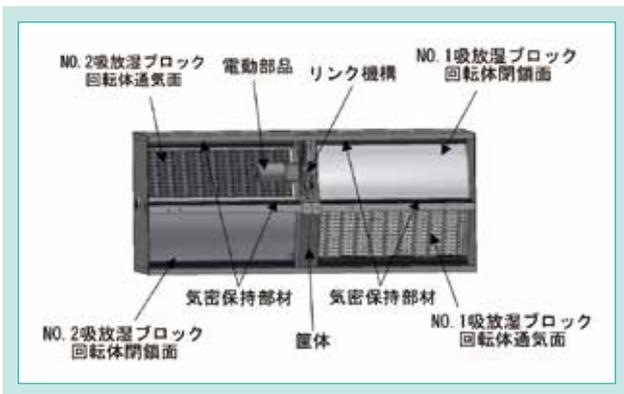


図6 流路切替え兼吸放湿装置の構成

Fig. 6 Configuration of Device for Changing Flow of Absorption and Desorption Air

出口とし2個の吸放湿ブロックが同軸回転で互いに逆回転させ、片方のブロックが除湿を行っている際、他方のブロックが放湿を行う構成とした(図7)。

また、本開発の流路切替え兼吸放湿装置には空気流路気密保持部品に採用し、低摺動加工を施したエチレンプロピレングム材を採用し、静止時から動作時まで幅広く隙間を埋めながら密着できる構造により、装置内の空気リーク量は設計風量の3%以内となり良い結果を得ることができた。

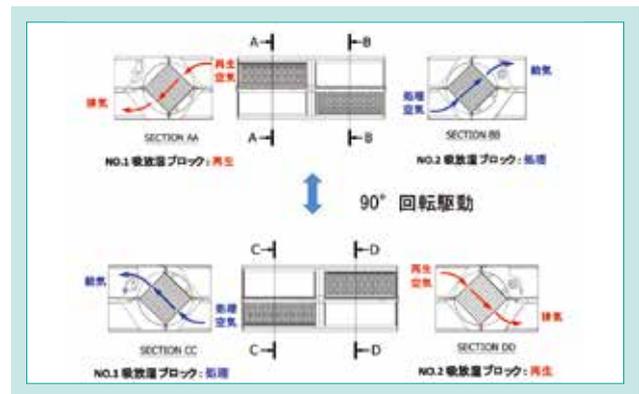


図7 流路切替え兼吸放湿装置の空気流路概略

Fig. 7 Air Flow Path Outline of Device for Changing Flow of Absorption and Desorption Air for Device Quiescent

### 4-3 「全熱交換モジュール」の開発

全熱交換モジュールの素子には、吸放湿ブロックと同様に高分子収着材を塗布した透湿膜を採用した。一般的な無孔系加工紙と比較するため熱交換効率を測定した(図8)。条件A,Bは高分子収着剤素子、条件Cは一般的な無孔系加工紙であり、ライナー部の厚さはいずれも50μmである。(図9)

今回の評価試験から、段高が低いほど熱交換面積が大きくなるため、全熱交換効率は、条件A>条件B>条件

Cとなり、条件Aが最も高い結果が得られた。

また、全熱交換効率は面風速が遅いほど高くなる傾向であり、計画している調湿外気処理ユニットのサイズで搭載可能な全熱交換器面風速0.75m/sにおける夏期条件での全熱交換効率は68.8%(潜熱交換効率69.7%)となり(図8)、圧力損失は70~100Paと実用範囲内になったので、条件Aを採用した。

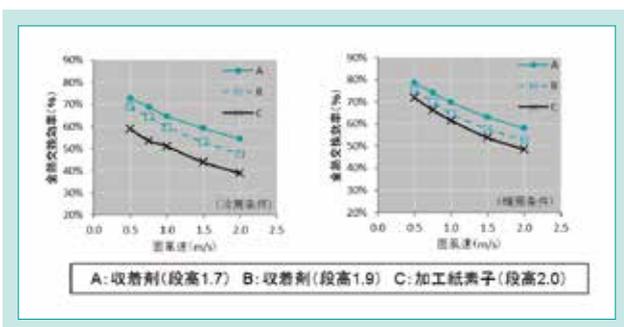


図8 全熱交換効率

Fig. 8 Efficiency of Total Heat Exchanger

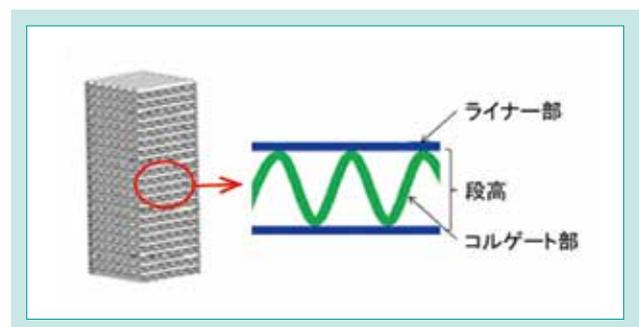


図9 全熱交換素子概略図

Fig. 9 Total Heat Exchanger Element Schematic

## 4-4 「制御ユニット」の開発

### (1) 制御ユニット

本開発では、調湿外気処理ユニットに特化した制御ユニットとするため、新規にマイコンを搭載した制御基板を開発した(図10)。調湿外気処理ユニットを、施工性を考慮したオールインワン構造とするために、制御ユニットは、専用ケースにマイコン制御基板を収めセンサや冷温水調節弁など必要な各種電装機器が直接接続できるようなコネクタを配置する設計とした。



図 10 制御ユニット外観  
Fig. 10 Control Unit

### (2) 制御ユニットの機能について

調湿外気処理ユニットの主な制御機能を下記に示す。

- ①給気温度一定制御
- ②還気湿度一定制御
- ③可変風量制御(遠方からの風量信号)
- ④デシカントブロック切替え制御(タイマ)
- ⑤外気冷房制御(還気と外気のエンタルピ比較)
- ⑥ウォーミングアップ運転(急冷、急暖)

制御ソフトにおける温湿度制御はPID制御を基本とした。ドラム型吸放湿モジュールは、4分毎に除湿ブロックを再生ブロックに切り替えるが(流路切替え)、切替え時において給気温度が再生熱による大きな影響を受け、安定しないという課題が発生した。解決策として給気温度制御に「フィードフォワード制御」を追加し、流路が切り替わる直前に急冷を行うことで安定性を改善した(図12)。具体的には、流路が切り替わる $\alpha$ 秒前に、外乱による温度上昇分 $\beta$ °Cを予測し、計測値に加えた。

再生ブロック側の温水調整弁の開度と外乱による温度上昇分には相関関係があるので、再生ブロック側の温水調整弁の開度に応じて温度上昇分 $\alpha$ °Cを決定した。この制御により、デシカントの流路切替えによる給気温度の急激な温度変化を防ぎ、制御評価試験の

結果、給気温度は設定値 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内、還気湿度は設定値 $\pm 5\%$ 以内になることを確認した。

### (3) PC評価ソフトについて

また、温度・湿度制御の評価のため、PC評価ソフトも開発した(図11)。評価ソフトの主な機能は、

- ①運転状態モニタ(温度・湿度センサのグラフ表示、冷温水調整弁の開度など)及びデータ保存
- ②PIDゲインや温度/湿度センサ補正等の各種設定

調湿外気処理ユニットの複数台使用を想定し、PCとの接続はRS-485(多重通信)を採用し、1台のPCで4台の調湿外気処理ユニットと接続可能とした。本ソフトは、製造上の検査や納入後のメンテナンスにも転用可能である。



図 11 運転状態モニタ画面

Fig. 11 Evaluation Tool: Screen Design of Operating Conditions

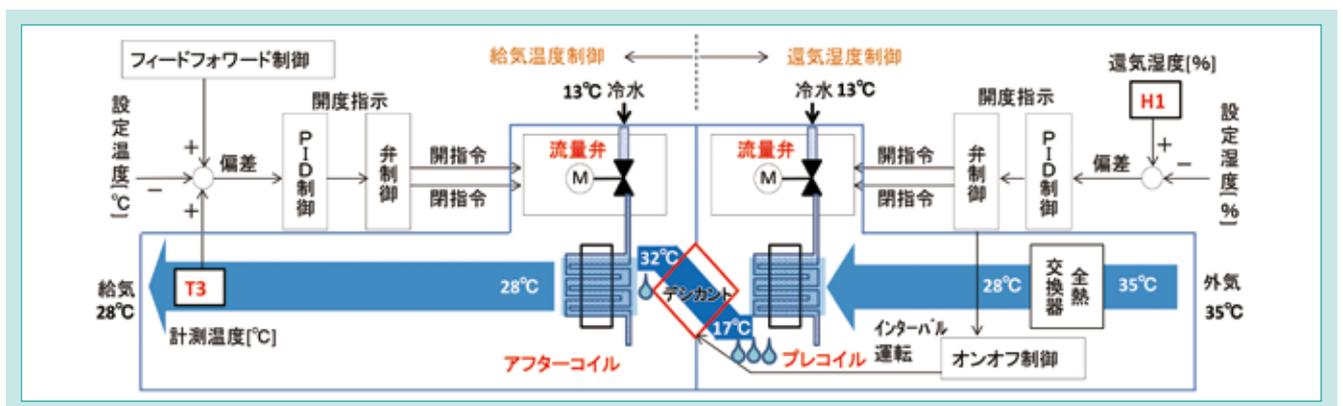


図 12 制御ブロック図 (除湿流路)

Fig. 12 Control Block Chart (Dehumidification Process)

#### 4-5 「調湿外気処理ユニット」の性能評価

各基本構成部材の評価後、調湿外気処理ユニット試作機を製作(図13)し、ユニットとしての性能評価を行った。

図14に夏期除湿時の設計空気線図を示す。評価試験において給気温度 $28^{\circ}\text{C}$ で絶対湿度 $6.0\text{g}/\text{kg}$ 以下を達成し、室内空気(還気) $28^{\circ}\text{CDB}/40.0\%$ を形成できる能力を確認した。また冬期条件では、加湿器を使用せず吸放出ブロックのみで十分な加湿性能を確認した。本開発では、下記項目においてZEBにおける外気処理の高効率化に寄与できる(図14)。

- (1) 吸放出ブロック及び全熱交換器による冷熱負荷削減
- (2) ユニット冷水温度中温化によるチラー等の高効率化
- (3) 太陽熱による再生可能エネルギーの活用

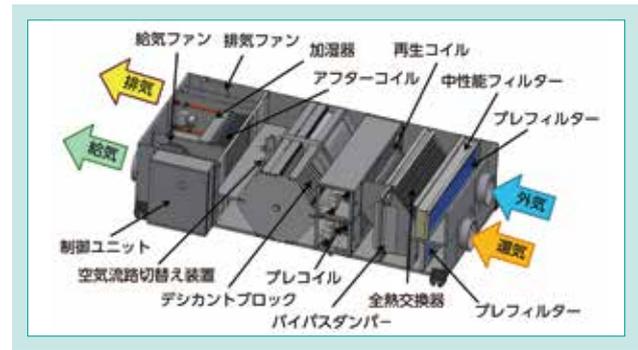


図 13 調湿外気処理ユニット

Fig. 13 The Desiccant Outdoor Air Ventilation Unit

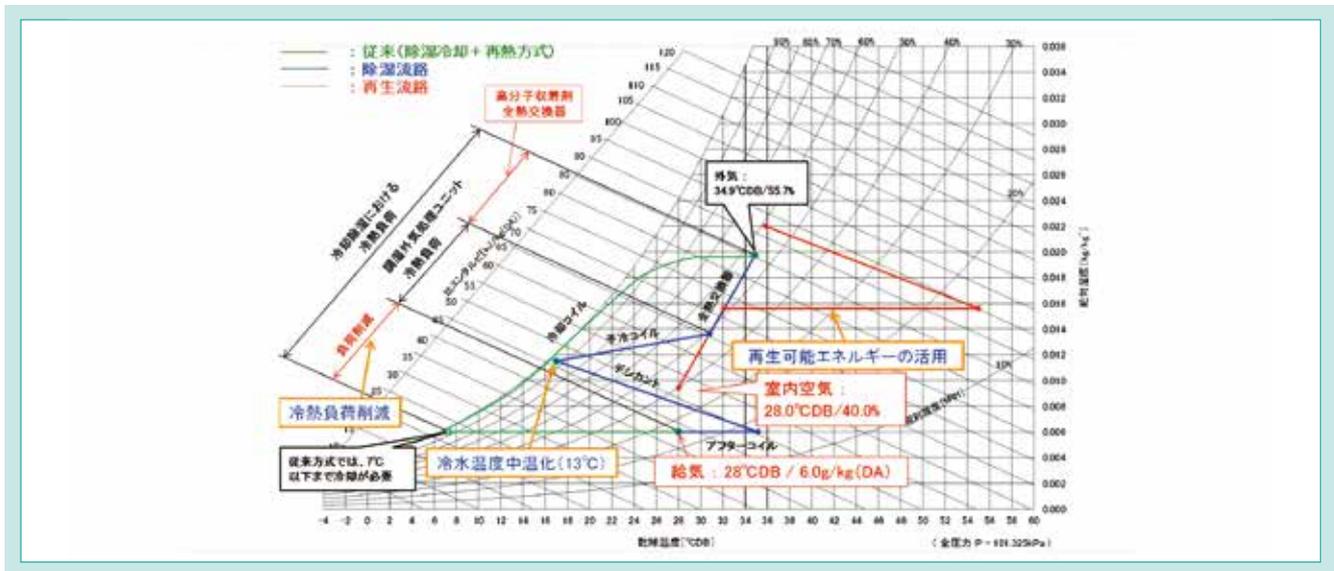


図 14 空気線図 (夏期運転時)

Fig. 14 Psychrometric Chart (At Time of Operation in Summer)

#### 5. おわりに

本ユニットは技術開発を終え、現在、ZEB化改修された共同開発先の建物で実証稼働中である。今後、実証評価を踏まえ、本格販売に向け製品改良を進め早期に市場投入する予

定である。本製品により、今後のZEBの普及や室内温熱環境の改善に寄与できるよう努力する所存である。

#### 謝辞

本開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」の助成を受けて、株式会社竹中工務店殿と共同で実施した。本開発を遂行するに当たり、ご支援・ご協力頂いた関係各位に深い感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁「ZEBロードマップ検討委員会」とりまとめ 平成27年12月(2015)
- 2) 和田 他, “再生可能エネルギー熱を活用した小型調湿空調機に関する研究第2~6報”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2014・2015・2016)
- 3) 山本 他, “再生可能エネルギー熱を活用した調湿空調システムに関する研究第1~7報”, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, (2014・2015・2016)
- 4) 和田 他, “湿度調整と高効率な外気処理が可能な「調湿外気処理ユニット」”, 建築設備と配管2016年6月号

# 給水用ポリエチレン融着レス配管システムの開発

Development of Polyethylene Piping System with Fusion Less Joint for Water Supply

株式会社クボタケミックス 開発部

近年、建物内での給水配管は、鋼管からポリエチレン(PE)管への代替が進んでいる。PE管の接合は、電気融着(EF:Electro Fusion)が主流で、埋設管として耐震性という優れた特長を持つが、建物内では、耐震性は必ずしも必要ではなくEF接合は施工性にも弱点がある。本稿では、建物内給水に特化した、施工性の良い給水用PE融着レス配管システムを紹介する。

【キーワード】

給水配管、ポリエチレン管、施工性

In recent years, piping system for water supply in the building has been substituted from steel pipe to polyethylene (PE) pipe, which is mainly jointed by electric fusion (EF). In the underground, PE piping system has excellent earthquake resistance. However, in the buildings, earthquake resistance is not always required, and EF jointing has some weak points in construction workability. This report presents a piping system with fusion-less jointing system, which is specially adapted in the building.

【Key Word】

Pipes for Water Supply, Polyethylene Pipe,

## 1. はじめに

集合住宅の給水は、最下階のピットの横引き管から立て管に分岐され、パイプスペースを通して上階へ給水される(図1)。

現在、PE配管の接続には、EF接合(図2)を使用しているが、以下のような問題点が指摘されている。

①大容量電源が必要で、スクレープ・クランプなどの作業も

ピット内では実施しにくい。

②ピット内では湿気や埃が多く、融着面の清掃がしにくい。

③融着後の冷却時間が必要で、施工に時間がかかる。

これらを解決するため、EF接合をとしない融着レス接合として、Eロック接合とハウジング接合の2方式を開発することとした。

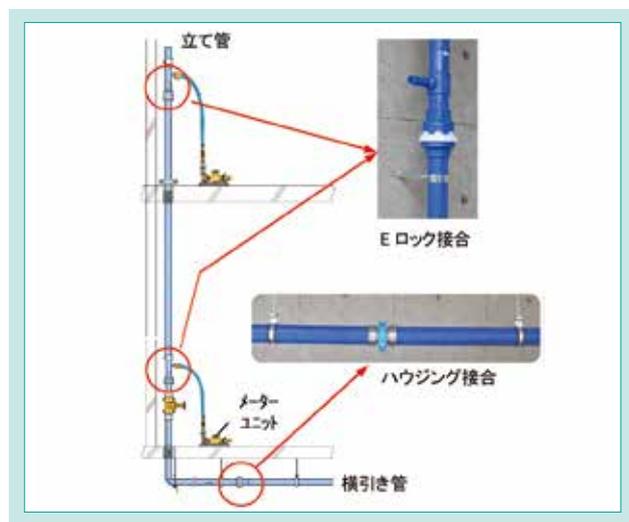


図1 集合住宅内の給水配管例

Fig. 1 Example of Water Supply Piping System in Multifamily Housing

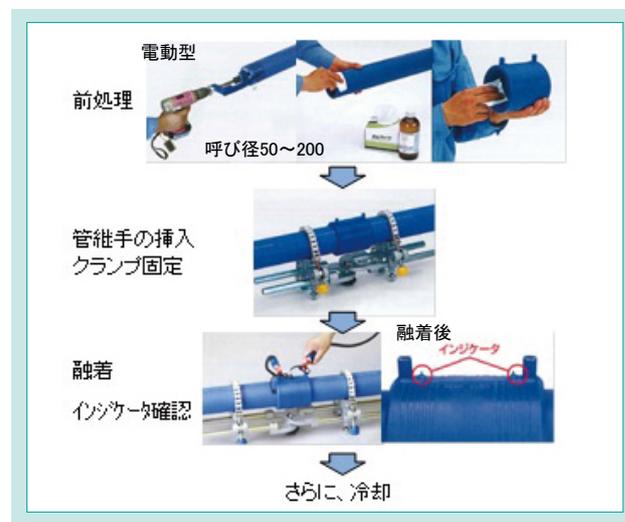


図2 PE管のEF接合

Fig. 2 EF Joining of PE Pipe

## 2. 技術の説明

### 2-1 製品設計

#### 2.1.1 Eロック接合

水道配水用PE管は、耐震性の高い管材として地震動や地盤変位などに追従するため、3%の伸縮や6%までの大変形で異常がないようEF接合部に高い強度を持たせている。これに対し建物内では、気温の変化による熱伸縮や水圧によるスラスト荷重など地震時の1/10程度の負荷しか継手部にはかからないため、Eロック接合は、施工性を優先して構造を検討した。

Eロック接合(図3)は、共同開発先のJFE継手が開発した16Aのサイズの機構を流用し、主な改良点は、次の2点である。

- ①サイズ拡大による継手部分への水圧負荷を減らすためパッキン1を追加し、より断面積の小さい箇所止水をするように変更した。
- ②スラストや熱伸縮による軸方向荷重もサイズ拡大に伴い大きくなるため、ロックリングと周辺部材(受口、挿し口及びカバー)との勤合・接触面の高精度化を図り、解析や切削加工サンプルでの性能確認の上、性能を確保した。

#### 2.1.2 ハウジング接合

ハウジング接合は、機構的にSUS部品をつなぐハウジング部とSUS部品とPE管をつなぐPE-SUS変換部にわかれる。

ハウジング部は、SUS管で一般的に採用されている形状、寸法で、それらをそのまま流用している。PE-SUS変換部は、クボタケミックスで開発したSPねじ継手(PE-金属

変換継手)20 A~50 Aの機構を拡大し、75 A、100 A、150 Aを開発した。開発に当っては、クボタ水・環境開発第一部の協力を得て、解析による検討を事前に行い、基本形状を決定した(図4)。

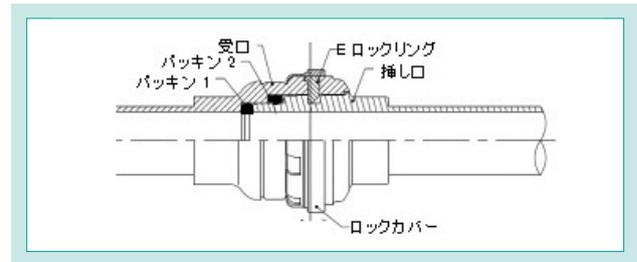


図3 Eロック接合の構造  
Fig. 3 Structure of E-Lock Jointing

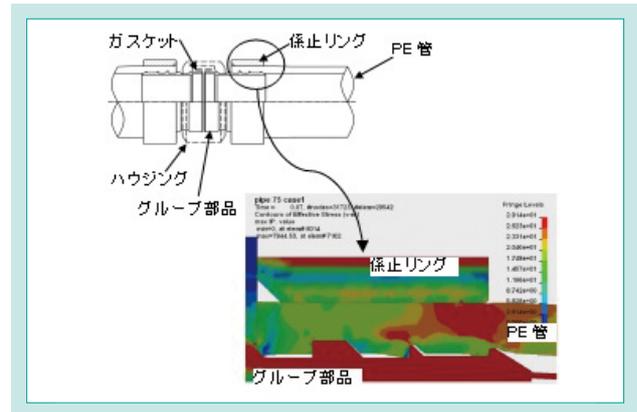


図4 PE-金属接合部の解析結果  
Fig. 4 Result of Strength Analysis (Transition Part of PE-Metal)

### 2-2 施工性

各接合方式での施工性については、実現場に製品を持ち込み、評価を行った。その結果、Eロック接合、ハウジング接合ともに、接合時間は、EF接合と比べ約1/6に短縮できた。また、ハウジング接合は、既存のSUS管と同じ接合方式であるが、保温工事が不要となり、施工時間の短縮と保温部材の節減にもつながった(表1)。

表1 施工性比較

Table 1 Comparison of Construction Times

接合工程	EF接合	融着レス接合	
		Eロック	ハウジング
1前処理	①融着面の切削 ②融着面の清掃	①接合部の清掃	①接合部の清掃
2接合確認	①管・継手の挿入 ②クランプ固定 ③融着	①接合部の挿入	①ガスケット装着 ②ハウジング取付け ③ボルト締め
3接合確認	①インジケータとコントローラ表示の確認	①ロックカバーのスライド(接合不良時はスライド不可)	①すき間確認
4冷却	①クランプ固定のまま ②クランプ取外し	不要	不要
施工時間合計	19分10秒	3分	3分

### 3. おわりに

給水用PE融着レス配管システムは、水道用から建築設備用の用途展開であり、埋設管としての機能と建物内給水管としての機能を比較・検討して目標性能を絞り込み、施工性の向上を図った。建物内給水に特化した配管システムとするこ

とで、建物内での施工性の課題解決を図って、PE管の鋼管・SUS管に対する優位性を際立たせることができ、PE管接合方法としては新たな方式で、数多くのお客様にご採用いただいで、更なる改善へと繋げていきたい。

# 非常用飲料水を備蓄可能な貯水機能付防災ヘッダ 「貯めてるゾー床下設置」

Water Supply Storing Header for Disaster Prevention 「TAMETERUZO (Under Floor Type)」

## 1. はじめに

東日本大震災に続き、熊本地震が発生し、日本国内ではいづつどこで地震が起きてもおかしくないことを改めて認識させられた。大規模地震の直後は水道が断水し、飲料水の入手が困難になることから、クボタケミックスでは2008年より非常用飲料水を備蓄できる防災ヘッダ「貯めてるゾー天井設置」を販売してきた。この製品は、屋内給水配管の途中に組み込み、天井裏に設置することで、予め設定した給水栓から、備蓄した飲料水を重力で取り出すことが可能である。また、通常の水の使用により貯水が置換されるため、常に衛生的である。

このたび、「貯めてるゾー」の製品ラインナップに床下設置型

(貯水量18L又は36L)を追加した(図1)。これにより、天井裏にデッドスペースがない住宅でも設置が可能となった。



図1 貯めてるゾー床下設置

Fig. 1 TAMETERUZO (Under Floor Type)

## 2. 製品の概要

### (1) 構造

貯水量は18Lと36Lがあり、36Lは2本を連結する構造になっている。18Lは給水口が2個、36Lは給水口が3個である。また、外部環境に応じて断熱カバーの有無を選定する。本体材質は耐衝撃性硬質ポリ塩化ビニル管150Aである。

### (2) 使用方法

床下に設置して、通常時は給水ヘッダとして使用する。非常時には、加圧用コンセントにフットポンプを接続して貯水部を加圧し、予め設定した非常兼用給水栓から貯水を取り出す(図2)。

### (3) 性能

貯めてるゾー床下設置は従来品と同様に、公益社団法人日本水道協会の認証登録品になっており、水道用機器及び非常用貯水槽に必要な耐圧性能、浸出性能、逆流防止性能、置換性能を満足している。

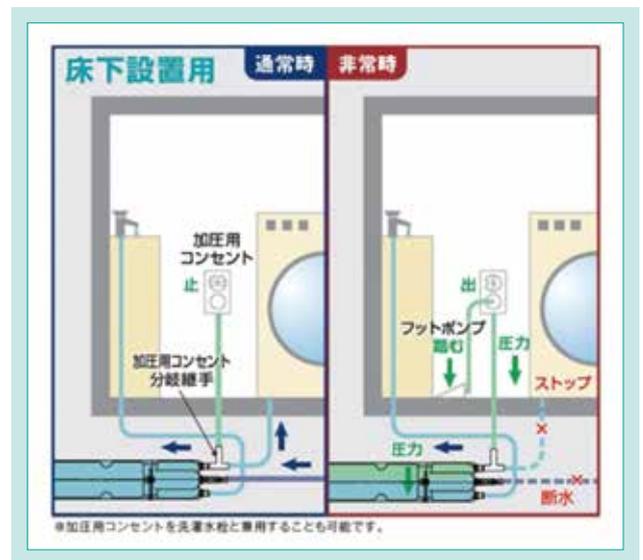


図2 使用方法

Fig. 2 How to Use

## 3. おわりに

災害時における飲料水の確保は、人命にかかわるため非常に重要である。近年は大規模な地震が続いたため防災意識が高まってきており、貯めてるゾーの採用も増加している。ラインナップを追加することで、日本の住宅の飲料水備蓄率向上に貢献していきたい。

クボタケミックスでは今後も生活の安全、安心につながる製品開発に取り組んでいく所存である。

問合せ先: 〒592-8332

住所 堺市西区石津西町14-2

会社名 株式会社クボタケミックス 開発部

TEL 072-244-7188

# プラント配管用のポリ塩化ビニル製二重管・継手

Polyvinyl Chloride Double Pipe and Fittings for Plant Piping

## 1. はじめに

工場等から流出した有害物質による土壌汚染や地下水汚染の被害は甚大であることが多く、特に地下水汚染は地中の水の移動経路が複雑であるため、発生源の特定が困難である。また、一度汚染されるとその回復は難しい。そのため、発生源対策は大変重要である。この考えから改正水質汚濁防止法が2012年6月1日に施行され、指定有害物質の漏えいについて規制強化された。

配管に対して法では、「有害物質を含む水の漏えいを防止

できる材質及び構造とするか、又は漏えいがあった場合に漏えいが確認できる構造とする」ことを求めている。

ニホンパイプ二重管・継手は、薬液の漏えい確認と防止に適した環境保全に役立つ製品である。

なお、法規制対象の有害物質は、カドミウム、シアン、有機リン、鉛、六価クロム、砒素、水銀の他、現在28項目が指定されている。

## 2. 製品の概要

実管と保護管をスペーサで一体化した二重管(図1)及び開発した二重構造の継手(図2)を組合せて配管する。

- (1) 管及び連結する継手は二重構造をしており、薬液を通す実管部分より液漏れが発生した場合に、保護管により薬液が直接外部に流出するのを防ぐ。
- (2) 透明塩ビ管仕様の保護管は、実管から漏えいした薬液を目視で点検することが可能である。
- (3) 新たに一体成形した二重構造の継手(20x50及び25x50)<sup>※1</sup>を用意し、従来品に比べ、保護管のサイズダウンによる省スペース化、施工性向上、及びコストダウンを実現した(図3)。



図1 二重管 16x50 <sup>※1</sup>  
Fig. 1 Double Tube 16x50



図2 二重継手 L25x75、及び T25x75 <sup>※1、※2</sup>  
Fig. 2 Double Joint L25x75, T25x75



図3 コンパクト型二重継手 T25x50 <sup>※1、※2</sup>  
Fig. 3 Compact Double Joint T25x50

※1) 継手及び管のサイズを示す数字は、「実管呼び径×保護管呼び径」を表す。

※2) 継手の品種を示すLはエルボ、Tはチーズを表す。

## 3. おわりに

ニホンパイプ二重管・継手は、多様な薬液に対し耐薬品性があり、加工や施工が容易なポリ塩化ビニル管の特長を活かし、透明化することで薬液漏えいの防止と確認に適した製品を実現した。

今後は継手メーカーと協力し、一体成形した二重構造の継手

の品揃えを進め、より環境保全に役立つ製品としていきたい。

問合せ先: 〒485-0826

住所 愛知県小牧市大字東田中宇西田100-1

日本プラスチック工業株式会社 製造技術部開発課

TEL 0568-72-2355