

No. **52** ISSN 0916-8249
JANUARY 2019

For Earth, For Life
Kubota

クボタ技報

KUBOTA TECHNICAL REPORT

特集

SDGsへの取り組み



クボタ技報

No.52 2019年1月

目次

巻頭言

SDGs に取り組み、人々の暮らしに貢献し続けるクボタ	6
-----------------------------	---

特集論文

中国向け麦用ホイールコンバインの開発	8
鉄コーティング直播用施肥機の開発	14
下水処理向け省エネ型散気装置「K メンブレン」の実地性能調査	20
北米向け MBR 制御システムの開発	26
国内向け超小旋回型ミニバックホー RX-506 の開発	32
溶融技術を用いた放射能汚染廃棄物の減容化における廃塩化ビニルのリサイクル活用	38

特集技術レポート

大型コンパクト浄化槽 KRZ の開発	44
--------------------	----

一般論文

スイフトタッチローダ（北米向け BX80 シリーズトラクタ用）の開発	46
タイ向け L 形トラクタ搭載 KET 製ディーゼルエンジン D1803-M-DI の開発	52
エンジニアリングテレマティクスの開発	58
NECS 生産方式の開発	64
鋼管杭・鋼管矢板の新型機械式継手の開発（ラクニカンジョイント ステップ型）	70
雨水排水用立軸斜流ポンプの吸込渦抑制技術の開発	76
新コンパクト型空気調和機の開発	82
管更生工法「EX 工法」の施工性向上	88

技術レポート

延焼防止機能付脚部継手の開発	94
----------------	----

新製品紹介

小口径樹用化粧蓋【LK ハット】	96
------------------	----

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.52 JANUARY 2019

CONTENTS

Prefatory Note

“For Earth, For Life” Kubota’s Engagement in SDGs and Continuing Contributions	6
--	---

Feature Text

Development of a Wheel Combine Harvester for China	8
Development of an Agrochemical Applicator for Direct Seeding with Iron-coated Rice Seeds	14
Research of the Performance in the Field of the Energy Saving Air Diffuser K-membrane Installed in Sewage Treatment Plants	20
Development of the MBR Control System for the North American Market	26
Development of the Minimal Swing Radius Type Mini Backhoe RX-506 for the Japanese Market	32
Utilization of Waste Polyvinyl Chloride in the Volume Reduction of Radioactive Waste Using Melting Technology	38

Feature Technical Report

Development of the Compact Johkasou KRZ Type for Large Scale Facilities	44
---	----

General Text

Development of the Swift-Tach Loader for BX80 Series Tractors for North America	46
Development of the D1803-M-DI Diesel Engine (KET) for L-type Tractors in Thailand	52
Development of Telematics for the Engineering Process	58
Development of the NECS Manufacturing System	64
Development of a New Mechanical Joint for Steel Pipe Piles and Steel Pipe Sheet Piles	70
Development of a Surface and Submerged Vortex Preventing Technique in Pump Intake Sumps	76
Development of a New Compact Air Handling Unit	82
Improvement of Workability in the EX Method (Pipe Rehabilitation Method)	88

Technical Report

Development of a Leg Part Joint with a Fire-Spread Prevention Function	94
--	----

New Products

Lid for Placing the Decorative Material on the Ground for Plastic Inspection Chambers [LK hat]	96
--	----

SDGsへの取り組み

～食料・水・環境の各分野で地球と人を支えるクボタ～

クボタグループは、国際社会共通の開発目標であるSDGsに取り組み、事業活動を通じてグローバルな課題の解決にチャレンジしています。

SDGsとは？

世界中が協力して取り組むべき課題を17の目標として定めたもの。

2030年の達成期限に向けて、2015年の国連サミットで採択された。

「Sustainable Development Goals」を略してSDGs(エスディーゼイズ)と呼ばれ、

日本語では「持続可能な開発目標」と訳されます。

掲載記事とSDGsの関わり

主に関わる分野			掲載記事	深く関連する：★ 関連する：●
食料	水	環境		
■			中国向け麦用ホイールコンバインの開発	
■			鉄コーティング直播用施薬機の開発	
	■	■	下水処理向け省エネ型散気装置「Kメンブレン」の実地性能調査	
	■		北米向けMBR制御システムの開発	
		■	国内向け超小旋回型ミニバックホーRX-506の開発	
		■	熔融技術を用いた放射能汚染廃棄物の減容化における廃塩化ビニルのリサイクル活用	
	■		大型コンパクト浄化槽KRZの開発	
■			スイフトタッチローダ(北米向けBX80シリーズトラクタ用)の開発	
		■	タイ向けL形トラクタ搭載KET製ディーゼルエンジンD1803-M-DIの開発	
		■	エンジニアリングテレマティクスの開発	
	■	■	NECS生産方式の開発	
		■	鋼管杭・鋼管矢板の新型機械式継手の開発(ラクニカンジョイント ステップ型)	
		■	雨水排水用立軸斜流ポンプの吸込渦抑制技術の開発	
		■	新コンパクト型空気調和機の開発	
	■		管更生工法「EX工法」の施工性向上	
	■		延焼防止機能付脚部継手の開発	

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



SDGs (Sustainable Development Goals) の詳細については、国際連合広報センターのWebサイトをご覧ください。
http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda

SDGゴール																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
●	★						★	★			●				●	●	
●	★						★				●			★	●	●	
					★	★		★		●	●				●	●	
					★	★		★		●	●				●	●	
						★		●		★	★		●	●	●	●	
	●	●					●	●		★	●			●	●	●	
	●					★		●			●				●	●	
					★	★		★			●				●	●	
							★	★		★					●	●	
							★	★		★		★			●	●	
					★	★		★		★			★		●	●	
							★	●	★	★					●	●	
					★		●	★			●				●	●	
							★	●		●	★				●	●	

SDGs に取り組み、人々の暮らしに貢献し続けるクボタ

代表取締役社長

木 股 昌 俊

President and
Representative Director

Masatoshi Kimata



私たちの住む世界には、現在も安全な飲み水にさえアクセスできず苦しんでいる人が数多くいます。今後も人口増加が続く中、食料やエネルギー不足が懸念されるなど社会課題は山積しています。このような状況の下、2001年に国連で策定されたMDGs（ミレニアム開発目標）では2015年までの8つの開発目標が掲げられました。

この間クボタでは、例えば中国や東南アジアの農業の機械化を推進し経済発展に寄与するとともに、浄化槽の普及にも取り組み伝染病・感染症の蔓延防止に貢献しました。各機関・企業も同様な取り組みを行いました。世界的には地域間に格差があるなどの課題を残しました。

その後継として、2015年の国連サミットにおいてSDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）が採択されました。SDGsは、「飢餓をゼロに」、「安全な水とトイレを世界中に」、「住み続けられるまちづくりを」、「パートナーシップで目標を達成しよう」など17に及ぶ国際社会共通の開発目標です。

クボタのブランドステートメントである「For Earth, For Life」、及びミッションである「食料・水・環境分野において世界への貢献を果たす」ことは、SDGsがめざす方向性と、まさに同じであると認識しています。

【食料】

戦後のまだ食料が不足していた時代から様々な農業機械を開発し発展させることで、豊かで安定的な食料の生産に貢献しています。

【水】

1890年の創業以来、公衆衛生確保のため日本初の水道用鉄管やバルブを開発、その後ポンプや合成管などを開発し日本の上下水道の普及を実現してきました。また近年では耐震管を開発し、安全・安心な水の供給に貢献しています。

【環境】

汚泥処理装置・焼却炉・溶融炉などに加え、各国の厳しい排出ガス規制に適合して継続的に環境負荷低減に取り組むエンジン、及び様々な建設機械の開発によって、持続可能かつレジリエントな都市インフラ整備に貢献しています。

グローバル化を推進するクボタは、北米・欧州・アジアの市場に開発・生産の拠点を構え、現地の人々と協力し合って、暮らしに貢献する製品やサービスを提供しています。

自然災害などの突発的に発生する脅威にも素早く対応してきました。東日本大震災やその半年後に発生したタイ大洪水では、排水ポンプがインフラ復旧に貢献しました。都市部での作業に向く小型建機は、昨年発生した西日本豪雨の災害復興でも活躍しました。

また、香川県豊島の産業廃棄物処理事業を完了し、環境回復に大きく貢献しました。現在は、ここで培った溶融技術とノウハウを活用して、福島県双葉町の汚染廃棄物の減容化に取り組んでいます。

近年、「スマート農業」や「スマートインフラ」の実現にも力を入れています。そのために先進のICT/IoT技術やロボット技術も取り入れて推進していますが、その根底には「地球と人の未来を支え続けること」があります。

そこで今回のクボタ技報52号は、「SDGsへの取り組み」を特集テーマとしました。クボタは、製品・技術・サービスにおいてSDGsに貢献する多くのテーマに取り組んでいます。その中で、特に関わりの深いものを掲載していますので、ご一読いただき、SDGsとクボタの取り組みについてご理解を深めていただければ幸いです。

“For Earth, For Life” Kubota’s Engagement in SDGs and Continuing Contributions

In the world that we live in, even in this day and age, there are a great number of people who are suffering due to not being able to access safe drinking water. From now and into the future, the global population will continue to increase, and as the population grows, so will the number of issues for our society, including concerns over insufficient supplies of food and energy. Under such conditions, the MDGs (Millennium Development Goals) that were formulated by the United Nations in 2001 established eight development goals to be achieved by 2015.

During this period, Kubota contributed to the economic development of China and Southeast Asia through the promotion of mechanization in the agricultural industry in those nations, and we also made contributions to prevent the spread of contagious and infectious diseases through efforts to popularize the use of septic tanks.

Though various organizations and companies made similar efforts, there are still issues, such as regional disparities, that remain worldwide.

As a successor to MDGs, SDGs (Sustainable Development Goals) were adopted at the 2015 United Nations summit. The SDGs encompass 17 development goals shared by the international community, including “Zero Hunger,” “Clean Water and Sanitation,” “Sustainable Cities and Communities,” and “Partnerships for the Goals.”

We recognize that the direction of the SDGs is the same direction that Kubota as a company is taking through our brand statement of “For Earth, For Life” and our mission of “contributing to the world in the areas of food, water, and the environment.”

[Food]

We have been contributing to the abundant and stable production of food through the development and expansion of various agricultural machinery since the post-WWII era when food was still scarce in Japan.

[Water]

Since our founding in 1890, we developed Japan’s first water pipes and valves in order to ensure public health, and later came to make the common use of water and sewer services a reality through the development of items such as pumps and synthetic pipes. Also, we have recently developed earthquake-resistant pipes, contributing to the safe and secure supply of water.

[Environment]

In addition to sludge treatment equipment, incinerators, and melting furnaces, we have developed engines and various construction equipment that work to continuously reduce environmental burden in line with strict emission regulations from various countries, contributing to sustainable and resilient urban infrastructure development.

As a promoter of globalization, Kubota has established development and production bases in the North American, European, and Asian markets, and works in cooperation with locals to provide products and services that contribute to their lives.

We have also quickly responded to unexpected threats such as natural disasters and other calamities. For the Great East Japan Earthquake and Thailand’s Great Flood that occurred six months later, our drainage pumps contributed to the recovery of infrastructure. Our compact construction machines, which are made for work in urban areas, were also active in disaster recovery efforts for last year’s flood in West Japan.

Also, we completed work on industrial waste treatment in Teshima, Kagawa Prefecture, greatly contributing to environmental restoration. Currently, we are using the melting technology and know-how that we have cultivated at our company to engage in efforts to reduce the volume of contaminated waste in the town of Futaba, Fukushima Prefecture.

In recent years, we have also put our efforts into the realization of “smart agriculture” and “smart infrastructure.” To achieve this, we have invested in and are promoting advanced ICT/IoT technology and robot technology, but at the foundation of this is “continuing to support the future of earth and mankind.”

Therefore, we have decided to make this 52nd issue of the Kubota Technical Report specially themed around the topic of “Working on SDGs.” Kubota is making efforts in many themes that contribute to SDGs through our products, technology, and services. This includes items that are deeply connected to SDGs, so we hope that you read this report and deepen your understanding of SDGs and Kubota’s efforts.

中国向け麦用ホイールコンバインの開発

Development of a Wheel Combine Harvester for China

収穫機技術部

特集論文

1

中国向け麦用ホイールコンバインの開発

畑作市場参入のために中国向けに麦用ホイールコンバインを開発した。ターゲットの中原地区では「コンパクトで小回りが利く機械」、「高収益な機械」が求められている。本開発では車体のコンパクト化、操作性の向上により、中原地区の圃場・道路条件に適した「コンパクトで小回りが利く機械」を実現した。また、穀の高速排出、麦用脱穀機の開発、メンテナンス性向上により、中原地区の賃刈を行うお客様の要求に適合した「高収益な機械」を実現した。本製品開発における開発技術は「農業の生産性向上及び所得の増加」につながるものであり、貧困と飢餓の撲滅に貢献することが期待できる。本論文では、高機動化、高能率化、高稼働率化に関する開発技術について紹介する。

【キーワード】

畑作市場、ホイールコンバイン、高機動性、高能率、高稼働率、貧困と飢餓

Kubota developed a wheel combine harvester for China in order to enter dry-field markets. There are two main demands in the target area: a compact machine with high mobility and a profitable machine with high efficiency. To satisfy customer demands, we developed a unique layout that makes the machine compact and improve operability. Moreover we sped up grain unloading, developed a thresher for wheat, and improved maintainability. The new machine ensured high mobility suited to field conditions and road conditions in the target area, and achieved high profitability exceeding that of the local competitor. The development technology in this product development is tied to “productivity improvement of an agricultural machine and an increase of the income”, and can contribute to the eradication of poverty and hunger. Here we show the technical development for high mobility, high efficiency and high operation availability.

【Key Word】

Dry-field Markets, Wheel Combine Harvester, High Mobility, High Efficiency, High Operation Availability, Poverty and Hunger

関連する SDGs





1. はじめに

世界の耕地は約14億 haを超え、その9割で畑作が行われている。この中でも小麦、トウモロコシ、大豆等のコンバインで収穫可能な畑作穀物が世界の耕地の4割を占めている¹⁾。これまでクボタコンバインはアジアを中心とする稲作市場において高能力・高性能なコンバインを投入し、その市場における貧困と飢餓の撲滅に大きく貢献してきた。しかし、今後世界の農業に

さらなる貢献を果たすためには、世界農業の主流である畑作市場向けに製品を開発し、畑作市場へ参入することが不可欠である。全世界の畑作圃場では、ホイールコンバインが一般的に使用されている。ホイールコンバインは従来のクローラ型とは違い、高速走行ができることで作業能率が良く、軟弱地が少ない畑作圃場で有利である(表1)。

畑作事業を展開するには、中国の麦市場は魅力的な市場である。作付面積は約2,400万 ha、生産量は約1.3億トンと世界1位。また、中国のホイールコンバインの需要量は全世界の55%を占める巨大市場である。また、中国の中でも黄河中下流域の中原地区(図1)では中国全体の作付面積の80%を占める巨大穀倉地帯である。しかし、近年の中国畑作市場では都市

表1 コンバインの種類
Table 1 Type of Combine Harvester

	クローラ型	ホイール型
収穫の様子		
条件	湿田	乾田
適合	稲作	畑作

化・工業化に伴う就農人口減少と農地面積縮小、また経済成長に伴う人件費上昇により高能力・高性能なコンバインが求められている。そこで、中国畑作市場において「農業の生産性向上及び所得の増加」に貢献すべく、中原地区をターゲットとしてクボタ初の麦用ホイールコンバインを開発した。



図1 中原地区
Fig. 1 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

中原地区では刈取機械化率が90%以上と高く、また現地他社機のシェアが圧倒的に高い。このような状況の中、後発で中国畑作市場に参入するクボタがシェアを獲得するためには「差別化を図った製品開発」が必要である。

中原地区では圃場面積は一区画10~20 aと小さく、また農道の幅も3~4 mと狭いのが特徴である。そのため、「コンパクトで小回りが利く機械」が求められている。また、ホ

イールコンバインのメインユーザは賃刈屋と呼ばれる刈取り専門業者であり、収穫時期に年収の大半を稼がなければならないため、「高収益な機械」が求められる。

そこで、開発コンセプトについて「コンパクトで小回りが利く機械」は高機動性、「高収益な機械」は高能率、高稼働率に展開した。

2-2 目標値

開発機と同クラスの現地他社機を凌駕する性能を達成するために事前調査、ユーザ調査により合理的な数値目標を設定した。

目標値

① 高機動性

全長:6 m以下、旋回半径:7 m以下
操作レバー数:1本

② 高能率

糞排出時間:現地他社機比0.20倍以下
刈取車速:従来比1.2倍
チョップパ所要出力:従来比0.8倍以下
作業能率(単位時間当たりの刈取面積)
:現地他社機比1.33倍

③ 高稼働率

防塵網の掃除回数:ゼロ/日

3. 解決すべき技術課題

3-1 高機動化に関する技術課題

3.1.1 車体のコンパクト化・低重心化

現地他社機の一般的なレイアウトは脱穀機が横向きに配置されているため、脱穀機の上にグレンタンク、エンジン、燃料タンクを機体前後方向に並べて配置されている(図

2)。そのため全長が長く、重心が高いため狭い圃場・農道では走行しにくく、機動性はよくない。機動性向上のためにはクボタ独自のレイアウトを採用し、コンパクト化・低重心化を実現させる必要がある。

3.1.2 操作性の向上

現地他社機はシフトレバー、刈取昇降レバー、リール昇降レバーがそれぞれ独立しており(図3)、レバーを持ち替えて操作する必要がある。また、前後進の切替えはクラッチを踏んでシフトレバーを操作する必要がある。特にαターン(圃場コーナーにおいて刈取方向を切り替える操作のこ

と)時には同時に複数のレバーを操作する必要があり、操作が煩雑になる。操作性向上のためにはレバーから手を離さず操作できるよう、それぞれのレバーを1本のレバーに集約させる必要がある。



図2 現地他社機の車体レイアウト
Fig. 2 Competitor's Machine Layout

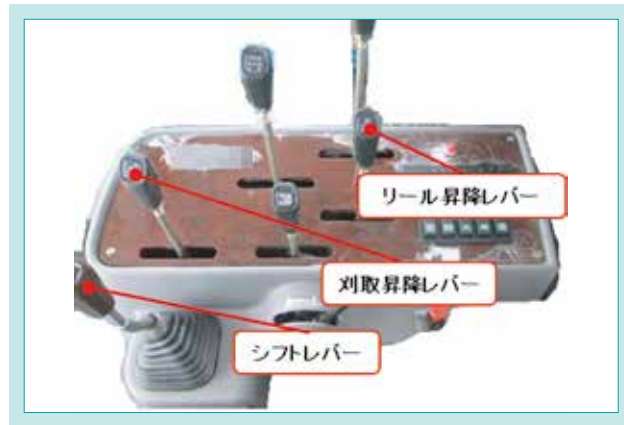


図3 現地他社機の操作部
Fig. 3 Competitor's Control Panel

3-2 高能率化に関する技術課題

3.2.1 籾の高速排出

中原地区では籾運搬時は低床車(図4)を使用するのが一般的であり、あおりの高さは1,200~1,500 mmである。現地他社機の一般的な排出方法はスクリュ排出であるが、

開発機では低床車に適した籾排出方式を採用し、現地他社機と差別化する必要がある。

3.2.2 脱穀負荷低減

開発当初の脱穀機は従来の稲に適した仕様でスタートした。しかし、ホイールコンバインでの麦作業は単位時間当たりの処理量が多く、脱穀負荷が高くなることでエンジン回転数が低下し刈取速度が遅くなる。そのため、従来の稲仕

様の脱穀機は麦用ホイールコンバインに不向きである。そのため、高ボリュームな麦作業に特化した脱穀機の開発が必要である。

3.2.3 チョップパ負荷低減

切断エネルギーを低く抑えるためには、最適な切断角(回転刃と固定刃がラップする時の角度:図5)が存在し、それは作物によって異なる。

開発機ではチョップパでの切断性能を維持しながら、所要出力を低減する必要がある。



図4 中原地区の一般的な籾車
Fig. 4 Popular Grain Transporting Vehicle In the Target Area

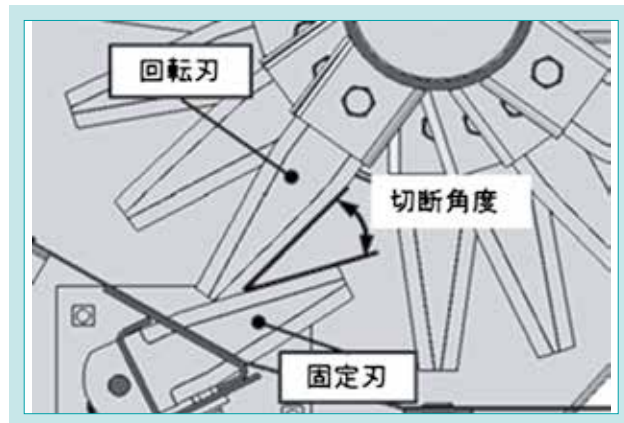


図5 切断角度の定義
Fig. 5 Definition of Cutting Angle

3 - 3 高能率化に関する技術課題

3.3.1 ラジエータのメンテナンス性向上

麦作業では埃が多く発生するため、防塵網が目詰まりし、オーバーヒートが起きやすい。そのため、オーバーヒートを避けるために定期的に2~3回/日、機械を停止させ、埃

を除去する必要がある。したがって、高能率化には埃除去の時間(停止時間)を低減する必要がある。

4. 開発技術

4 - 1 高機動化

4.1.1 車体レイアウト

開発機ではクボタ独自の技術である縦置き脱穀機を採用することで、エンジン、燃料タンクを機体下側に配置することができ、コンパクト化を実現した(図6)。また、エンジン、

燃料タンクを機体下側に配置することで低重心化でき、旋回半径の縮小化を実現し、現地他社機を圧倒する高い機動性を確保した。

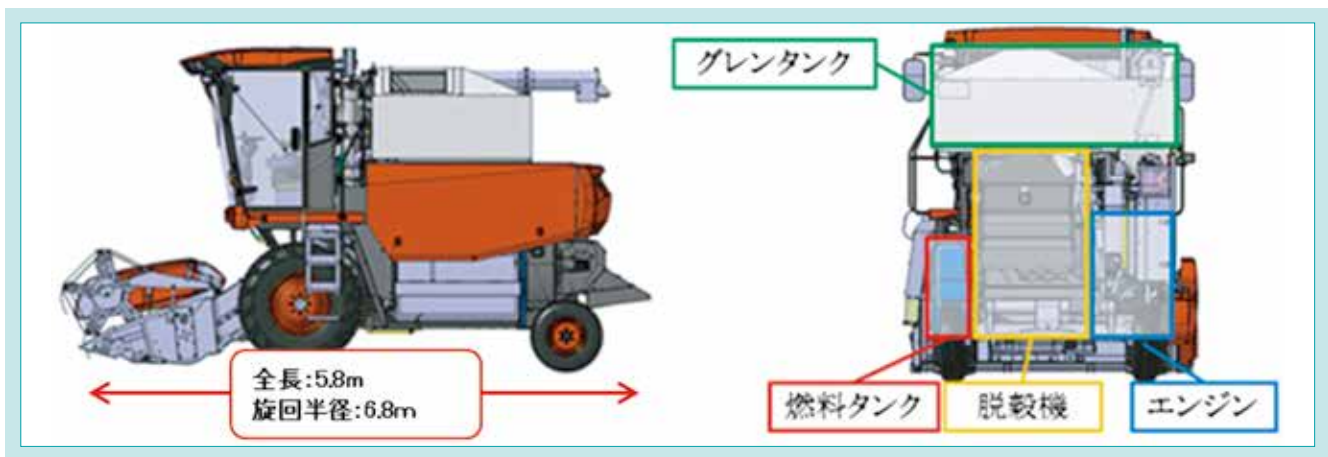


図6 車体レイアウト
Fig. 6 Machine Layout

4.1.2 マルチファンクションレバー

開発機では操作性向上のためにマルチファンクションレバー(図7)を採用した。マルチファンクションレバーは主変速レバー、刈取昇降レバー、リール昇降レバーを1本に集約したレバーであり、レバーを持ち替えずに操作できる。ま

た、前後進の切替えはマルチファンクションレバーのみで操作できる。そのため、現地他社機に比べて格段に操作性が良い。



図7 開発機の操作部
Fig. 7 Control Panel of the Developed Machine

4 - 2 高能率化

4.2.1 高速籾排出

開発機では低床車に適したダンプ式を採用し、高能率化を図った。排出側のグレタンク側板を全面排出口とし、油圧シリンダによる上昇でグレタンクを傾け排出する(図8)。現地他社機のようなスクリュ排出とは違い、籾を自重により



図8 開発機のダンプ式グレタンク

Fig. 8 Dumping Type Grain Tank of the Developed Machine

気に排出でき、籾排出時間を大幅に低減できる。また、開発機では高床車にも対応できるように、アンローダ排出を併用した籾排出方式を採用した。その結果、籾排出時間において現地他社機に対して、0.16倍と高い優位性を確立した(図9)。

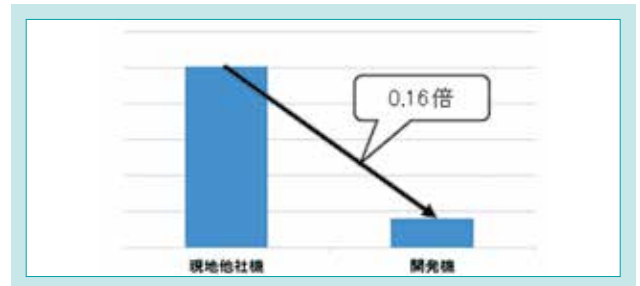


図9 籾排出時間の比較

Fig. 9 Comparison of the Unloading Time

4.2.2 脱穀負荷低減

従来の脱穀機は稲のような脱粒しにくい作物に対応するため、角型の天板が一般的であった。また、単位時間あたりの処理量がホイールコンバインに比べて低いクローラコンバインに適した仕様であったため、こぎ胴部の作物が通過する空間が狭く、作物が滞留し脱穀負荷が高くなる(図10)。そこ

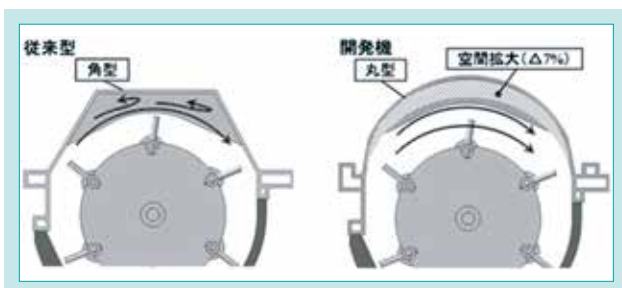


図10 従来機と開発機の比較

Fig. 10 Comparison of the Current Model and Developed Model

で、開発機では脱粒しやすい麦に適した丸型天板を採用し、また処理量が増加した分、こぎ胴部の作物が通過する空間を広げることで作物の滞留を抑えた。その結果、脱穀負荷が低減し、刈取速度の目標を達成することができた(図11)。

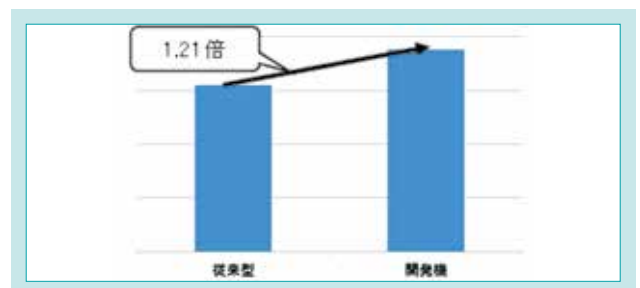


図11 车速の比較

Fig. 11 Comparison of the Reaping Speed

4.2.3 チョップパ負荷低減

開発機では、現地にて切断角度を変化させながら刈取作業時のチョップパ所要出力を測定した。その結果、切断角

度が30°の時にチョップパの所要出力が最も低くなり従来型(21°)に対して25%低減できた(図12)。

4.2.4 作業能率

図13に開発機と現地他社機の作業能率を示す。現地他社機比1.4倍と、目標作業能率を達成し、市場要求を満

足する高収益な機械を実現した。

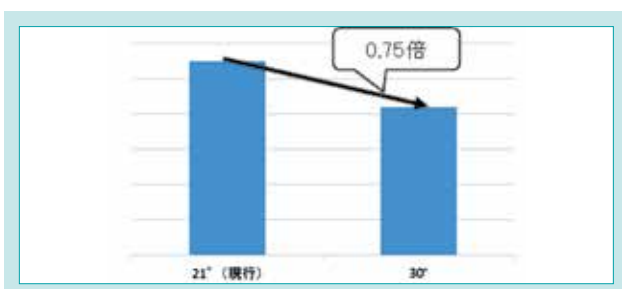


図12 所要出力の比較

Fig. 12 Comparison of Output

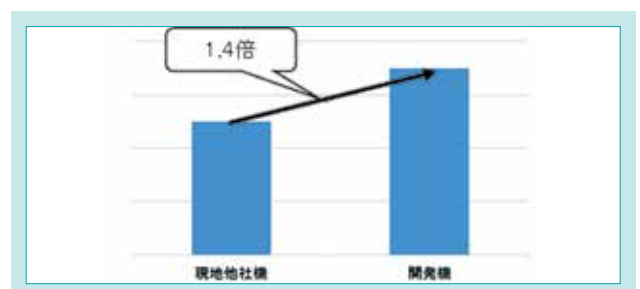


図13 能率の比較

Fig. 13 Comparison of the Operating Efficiency

4 - 3 高稼働率化

4.3.1 ラジエータのメンテナンス性向上

開発機ではクボタ独自の技術である自動逆転ファンを採用した(図14)。ラジエータ用のファンを所定のサイクルで自動的に逆転させ、防塵網に付着した埃を吹き飛ばすことができる。その結果、埃の除去が不要となり、目標の1日の掃除回数ゼロを達成した。

更に、開発機では防塵網、ラジエータを機体後方の手の届く位置に配置することでメンテナンスを容易にした(図

15)。また、エンジンとラジエータを分離して配置することでエンジンに手が入りやすくなり、エンジンオイルの点検がしやすい等、エンジンのメンテナンス性向上にも貢献した。

現地他社機は防塵網が機体上側に配置されており、除去が困難であるため、現地他社機に比べて格段に優位である。

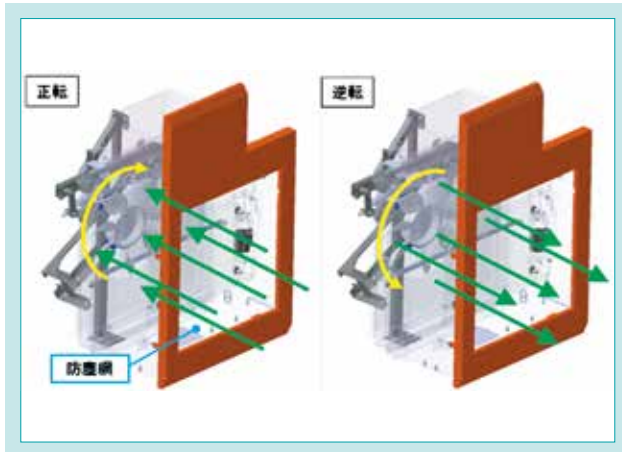


図 14 自動逆転ファン
Fig. 14 Automatic Reverse Fan

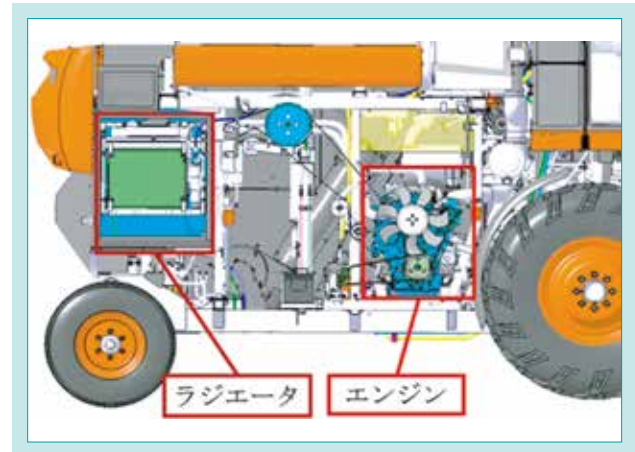


図 15 ラジエータのレイアウト
Fig. 15 Layout of the Radiator

5. おわりに

コンパクト化、操作性向上により中原地区の圃場条件、農道条件に適合した高い機動性を確保した。また、粃の高速排出、麦用脱穀機の開発、メンテナンス性向上により、高い作業能率を有する高収益なコンバインを実現した。この高能力・高性能なホイールコンバインの開発によって、中国畑作市場における「農業の生産性及び所得の増加」に貢献することができた。今後は中国畑作市場においては、高出力化、機能アップ、スマート農業で更なる貢献を図る。作物領域の拡大については麦以外の大豆、コーン等の畑作市場に展開していく。地域の拡大については中国以外の新興国と大型畑作市場に展開していく。これらの新たな事業の展開(図16)により、グローバル・メジャー・ブランド クボタを目指して世界の農業に貢献していく。



図 16 今後の展望
Fig. 16 Future Prospects

SDGs のターゲットへの貢献

2.3 農業生産性及び所得の増加 作業効率向上により中国農業従事者の所得増加に貢献

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 安価で高耐久・高能率なコンバインにより農業の生産性向上に貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 中国の農業インフラの強化に貢献

参考文献

1) 国連食糧農業機関(FAO)データ

鉄コーティング直播用施薬機の開発

Development of an Agrochemical Applicator for Direct Seeding with Iron-coated Rice Seeds

移植機技術部

特集論文

2

鉄コーティング直播用施薬機の開発

近年国内において稲作の低コスト化・省力化への需要がより一層高まる中、これを実現する新たな栽培技術としてクボタグループでは鉄コーティング直播栽培の普及に取り組んできた。その結果、大規模農家を中心に受入れられ、鉄コーティング直播栽培面積は年々増加している。しかし、播種同時での殺虫殺菌剤施薬ができず、直播後の防除作業が必要という課題を抱えていた。そこで、鉄コーティング直播栽培の省力性を更に高めるため、農業業界と連携しながら施薬方法を含めた直播同時施薬機を、他社に先駆けて開発した。本稿では、開発技術の中から、新しい施薬方法を実現する構造、既存直播機に対するコンパクトなレイアウト、繰出し精度向上技術について紹介する。

【キーワード】

鉄コーティング直播、省力、施薬機

The KUBOTA group has encouraged the spread of the method of direct seeding of iron-coated rice seeds, which meets the increasing demand for low-cost and labor-saving in domestic rice cultivation. As a consequence of the activity, the method has become prevalent among large-scale farmers and the cultivated area has also been expanding. However, the method had the problem that it needed to apply insecticides and fungicides after seeding because of the non-existence of a simultaneous application technique of those agrochemicals for direct rice seeding. In order to improve the labor-saving effect of direct rice seeding, we newly developed a simultaneous agrochemical applicator for direct rice seeding ahead of our competitors, involving the agrochemical industry. This paper describes our efforts in development.

【Key Word】

Direct Seeding with Iron-coated Rice Seeds, Labor Saving, Agrochemical Applicator

関連する SDGs



1. はじめに

日本では主に高齢化と後継者不足を背景に、農業従事者の減少が進んでいる¹⁾。一方、10 ha以上の比較的大規模な水稻農家の農地面積割合は2005年の13%から2015年には31%となっており²⁾、稲作における大規模農家への農地集積が加速していると言える(図1)。更に、政府主導の「攻めの農林水産業」の中には、大規模農家の米の生産コスト削減が目標として掲げられており²⁾、稲作の省力・低コスト化はますます強く求められている。これに対応する技術としてクボタグループでは鉄コーティング直播栽培の普及に取り組んできた結果、大規模農家を中心に受入れられ栽培

面積は拡大してきた。

現在の田植機は「1台5役」として、苗の植付と同時に、施肥、除草剤散布、枕地整地、殺虫殺菌剤散布を行うことができる。一方、鉄コーティング直播時に使用される直播機(図2)では播種、施肥、除草剤散布、溝切は同時に行うことができるが、殺虫殺菌剤散布に相当する作業を行うことができず、播種後別途施薬作業が必要だった。この作業は薬剤が周囲に飛散しないよう配慮が必要で、また、人力散布だと均一・適量散布が難しかった。したがって、直播のメリットである省力・低コストを更に高め、より環

境にやさしい直播同時施薬機の開発に取り組んだ。

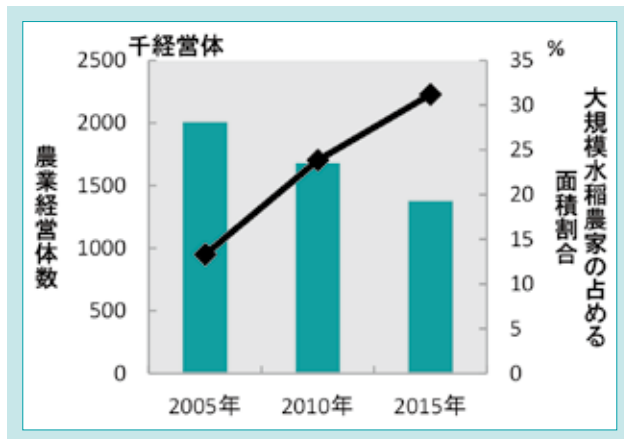


図1 農業経営体数および大規模農家面積割合の推移
Fig. 1 Change in Agricultural Management Entities and Large-scale Rice Farmers Area Ratio

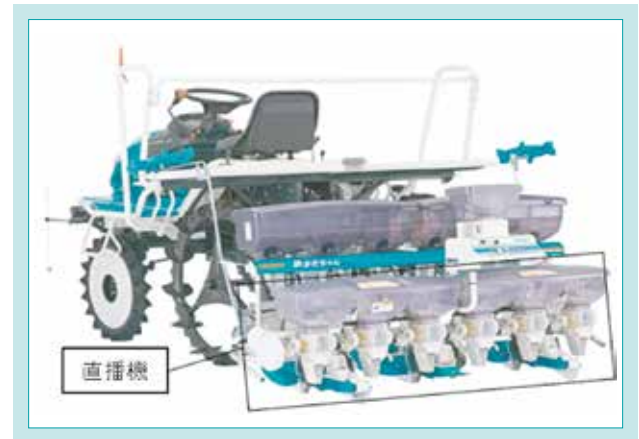


図2 鉄コーティング直播機 (WP60D-TC)
Fig. 2 Direct Seeder for Iron-coated Rice Seeds

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

鉄コーティング直播の省力性を更に向上させ、普及を後押しできる直播同時で殺虫殺菌剤施薬可能な機械を開発

のコンセプトとした。

2-2 施薬方法の確立

施薬機の開発には施薬方法の開発と確立が必要だったため、薬剤メーカーと共同研究を行った。

殺虫殺菌剤の薬効成分が光分解する性質をもつことと、稲の根から薬効成分が吸収されることで防除効果が高まる仕組みから、薬剤は土中施用が望ましいとされた。直

播後の芽出し時期の薬効を確保するために、種籾と薬剤の最適な位置関係を研究した結果、種籾直下の位置が最も効果的であることが分かった。

以上より、施薬方法を種籾直下の土中埋設と決め、その方法を実現する機械の開発に取り組んだ。

2-3 開発目標

(1)新しい施薬方法の実現

共同研究の結果得られた「種籾直下の土中施薬」を実現できる構造とした。

(2)既存の直播機に後付け可能な構成

鉄コーティング直播機が比較的新しく更新需要がまだ低いことから、後付け可能なアタッチメントとした。

(3)高精度な繰出

薬効確保のため、薬剤を1 kg/10 aで繰出できる性能が機械に対して求められていた。薬剤は種類毎に物性・粒形が異なるため、多様な薬剤を常に安定した量繰出せることとした。

3. 解決すべき技術課題

3-1 新施薬方法実現のための課題

粒体を土中に埋め込む方法としては既に田植機の側条施肥技術がある。接地して圃場の凹凸を整地するフロートに装着した各部品で、田面に切った溝の中に肥料を落とし込み、覆土して溝を埋めることで肥料の土中埋設を行う(図3)。直播機は種籾を一定間隔で点状に播種できるので、薬剤の落下経路を作ったうえで、この構造を進行方向で播種位置と同線上かつ前方に配置することで種籾直下への土

中施薬は可能となる(図4)。

播種位置と同線上に溝をつくると、種籾が溝の中に落ちるリスクがある。鉄コーティング籾は泥の中に埋まると発芽率低下を招くため、形成した溝を埋めるための高い覆土性能が課題となった。

また整地の役割をもつフロートの田面と接地する底面側に新部品を追加するため、従来フロート底面での泥の流

れが悪くなることによる整地性能の悪化が課題となっていた。加えて薬剤は肥料と比べ粒が小さく比重が軽いため、

繰出落下時に散らばりやすく、落下口に付着、堆積して詰まりやすいことも課題だった。



図3 側条施肥埋設部の構造
Fig. 3 Part of Burying Fertilizer in Soil

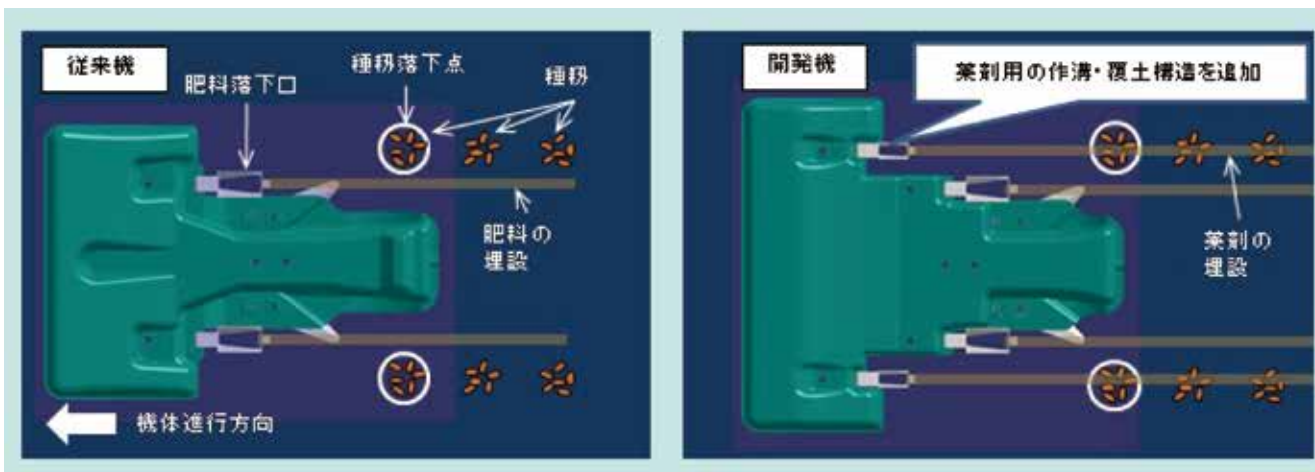


図4 種籾直下への土中施薬方法
Fig. 4 Way to Apply Agrochemical Under Rice Seeds

3-2 直播機に後付け可能な構成にするための課題

薬剤は銘柄によって粒形や比重が異なるが、いずれも施用量は1 kg/10 aであるため、機械側には繰出し量を調節できる仕組みが必要である。多様な物性値の粒体を調量する構造では電動モータによる駆動での繰出しロールの回転数調整が構成しやすいが、リーズナブルな価格設定とするためにメカ駆動とする必要があった。メカ駆動は

電動モータ駆動と比べ部品点数が多くなりやすく、もともと後付けを想定して設計されていない直播機の限られたスペースの中でコンパクトに成立させる必要があった。

また後付け可能な機械は、機体全長が伸び機体全体の前後バランスを悪化させやすく、機体全長を伸ばさずレイアウトすることも課題となった。

3-3 高精度な繰出実現のための課題

従来技術である肥料の繰出しロール構造を図5に示す。回転するロール表面の溝に粒体が入り、毛のブラシが溝からはみ出た粒を擦りきることで溝あたりの粒数を均一にし、粒体を規定量繰出す。擦りきる際に粒が砕けにくいようにブラシの毛はナイロン製となっている。

本構造で試作し薬剤の繰出し試験を行ったところ、繰出し量が安定しなかった。薬剤の粒形が肥料と比べて非

常に小さく、ブラシの毛の隙間に入り込むためだった。毛は変形しやすく、変形によるロールとの隙間増加も課題となった。

また、ロール表面の溝は回転軸に対して平行であるため、粒は間欠的に落下する。種籾は株を形成するため一定間隔で播種される(点播)が、これにより種籾の真下に薬剤がない箇所が生じる(図6)。播いた種籾がすぐに薬効成

分を根から取り込めるよう、この種粒と薬剤の位相ズレを

なくすことも課題となった。

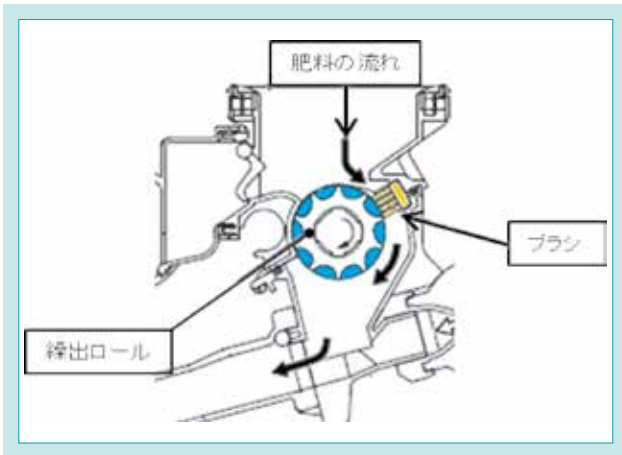


図5 肥料繰出部の構造

Fig. 5 Structure of the Feeding Fertilizer Part



図6 種粒に対する施薬ムラ

Fig. 6 Unevenness of Applying Agrochemicals for Rice Seeds

4. 開発技術

4-1 新施薬方法実現のための技術開発

4.1.1 施薬機の仕組み

開発機による施薬の仕組みを図7に示す。作溝器で田面に溝を切り、溝内に薬剤を落とし、覆土した上に種粒を播く構造とした。リーズナブルな価格とするため、薬剤はブローアを用いる風搬送ではなく、自然落下方式とした。

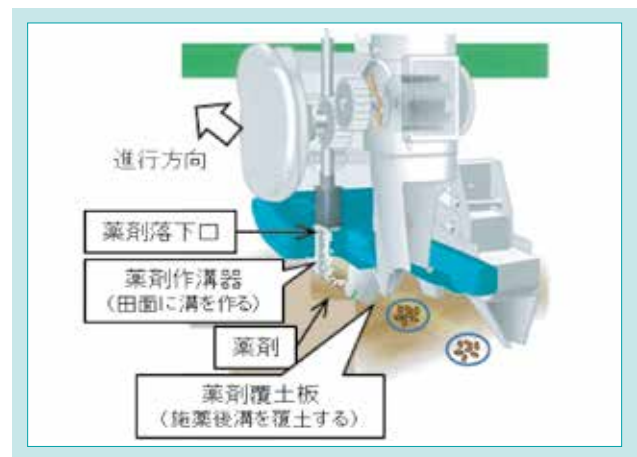


図7 新施薬方法の仕組み

Fig. 7 Mechanism for the New Agrochemical Application

4.1.2 埋設部各部件のレイアウト

開発した埋設部を図8に示す。実圃場確認を通して各部件の最適な位置、形状を作り込んだ。

(1) フロート

整地フロート部は作溝深さと覆土性能を安定させるため、フロート回転支点を従来より前方に設けることでフロートの上下変動量を低減させた。

(2) 作溝器

薬剤作溝器は肥料作溝器と側面視でラップしないように、薬剤作溝器を機体前方側に配置することで、両作溝器間で泥をかかえないようにし、整地性能の維持を図った。

(3) 覆土板

薬剤覆土板は幅広い圃場条件に適応できるように圃場試験を繰り返し形状・取付位置を決定し、更に覆土板の左右開き角及び高さを調節可能な構造とすることで、適応性を高めた(図9)。

(4) 薬剤落下口

施薬部は溝内に薬剤をまとめよく落下させるため、落下口直前のパイプ部に直線部を設け、また、落下口への泥水付着による薬剤詰まりを防止するため、落下口形状を斜めカット形状とした(図9)。

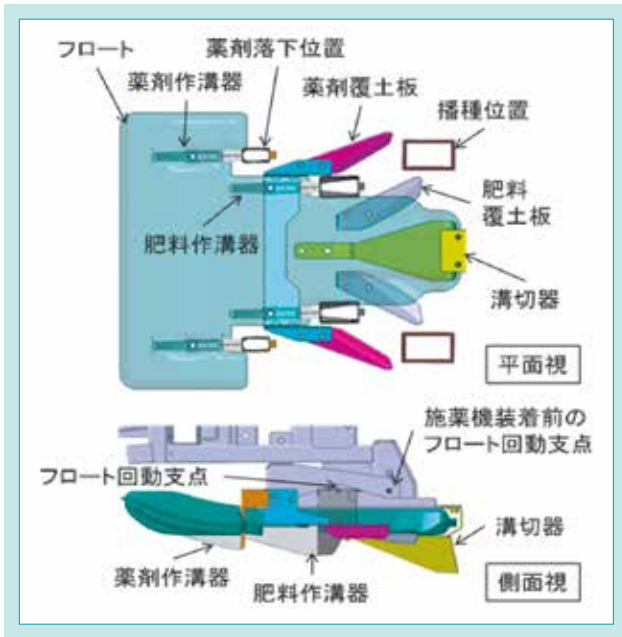


図8 埋設部各用品のレイアウト
Fig. 8 Part Layout in the Burying Part

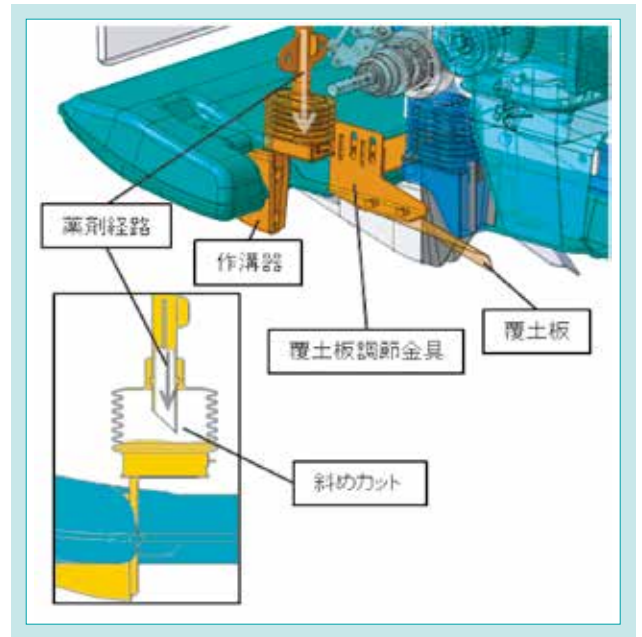


図9 覆土量調節および薬剤落下構造
Fig. 9 Structure of Changing the Amount of Covering Soil and Falling Agrochemicals

4-2 後付け可能かつコンパクトなレイアウト

開発機の直播機装着状態の全体レイアウトを図10に示す。橙色部が今回開発した施薬機であり、後付される部分である。従来の直播機に対して後付けしやすいように、肥料ホッパーと種籾ホッパーの間に薬剤ホッパーを、薬剤が自然落下しやすいように薬剤落下点の真上の狭い空間に繰出し部をレイアウトし、メカ駆動としながら機体全長を変更しないことを達成した。

ロールを駆動させるための動力伝達経路中に、株間変更時の施薬量調量部(第一調量部)と、薬剤種類変更時の施薬量調量部(第二調量部)を各駆動部に設け、それぞれ工具レスで操作可能にした。

薬剤ホッパーは種籾ホッパーより上方に配置することで後方からの残量視認性を確保し、1回の補給で1 ha以上連続作業が可能なホッパー容量も確保した。

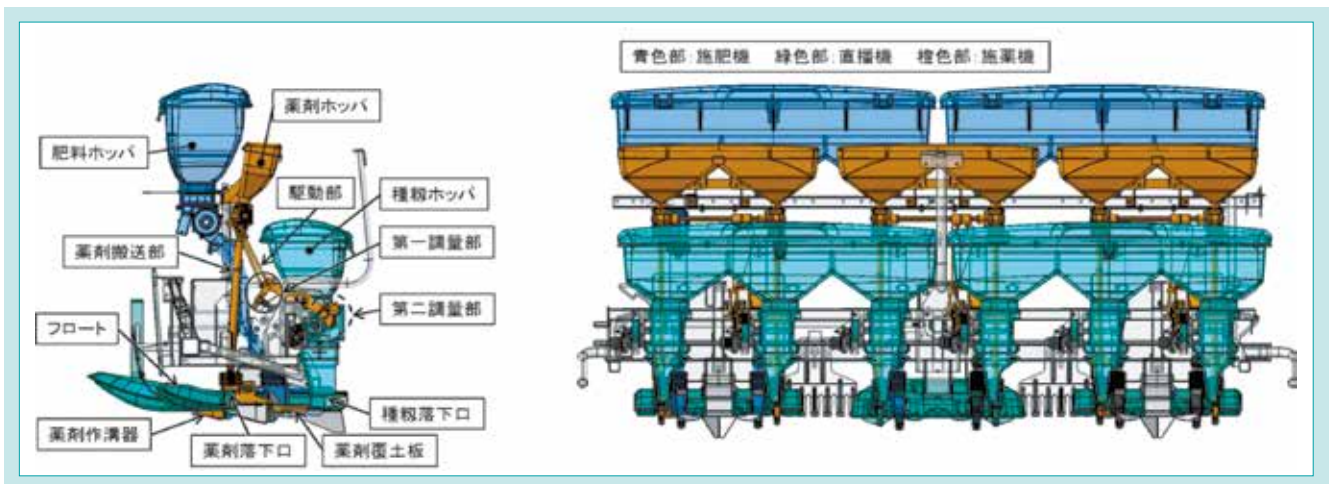


図10 直播機装着時の全体レイアウト
Fig. 10 Overall Layout of the Developed Applicator Mounted on the Direct Rice Seeder

4-3 高精度な繰出のための技術開発

薬剤の粒が肥料と比べて小さく砕けにくいことから、摺り切り性能を重視し、ブラシをエラストマ製のスクレーパー形状とした(図11)。この変更により、繰出時のばらつきを1/6

に減少できたが、ロールの摩耗が増え、耐久性の面で問題となった。そこで、ロール材料を高剛性樹脂と弾性に優れたエラストマの組合せとすることで、繰出し精度と耐久

性を両立させることができた。

車速や株間(機体進行方向の苗/種籾同士の間隔)はユーザによって異なるため、いかなる条件でも種籾の下に薬剤の粒があるように、連続的に薬剤を落下させる構

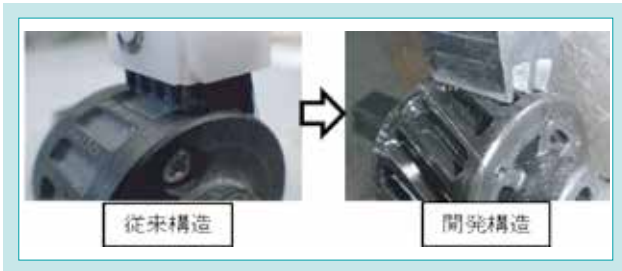


図 11 開発機のロールブラシ形状
Fig. 11 Brush on the Feed Roll

造が必要だと考えた。そこで、繰出しロールの溝を回転軸心方向に対して傾斜させることで、低回転数でも常に薬剤が落ちるようにした(図12)。



図 12 施薬ムラの改善
Fig. 12 Continuous Falling of Agrochemicals

4-4 薬効評価

全国各地の農業試験場にて開発機を用いた薬効評価試験を実施し、様々な圃場条件、作業条件において薬効性能が確保されていることを確認した。薬効だけでなく、粒形・比重の異なる種々の薬剤に対しても、搭載した調量構造に

よって狙いとする精度で薬剤を繰出せることを確認した。

また、2015年の直播シーズンにおいて全国でモニタテストを実施し、様々な圃場・作業条件で覆土性能が実現できていることを確認した。

5. おわりに

省力・低コストな米作りの技術のひとつである湛水直播栽培を行う上で課題となっていた、播種直後の防除作業を省略するため、直播同時で殺虫殺菌剤施薬可能な施薬機の開発に取り組んだ。薬剤メーカーと協調しての開発により、業界初となる直播同時施薬作業を実現することができた。

本施薬法は土中へ局所的に施薬するため、圃場周辺への薬剤飛散がない。また、作業者はホップに薬剤を補給するとき以外薬剤に触れる必要はなく、機械による繰出のため、むらのない均一な散布によって過剰な施薬を防ぐ。これらによって残留農薬、水質汚染の低減にも貢献する。

従来の施薬機の開発は、人力で行っていた作業を単に機械化する内容だった。今回の開発においては、作業自体が存在しなかったため、施薬方法から開発したという点で従来と大

きく異なる。その結果、クボタ独自の技術として確立できた。省力・低コストかつ持続可能な農業へ貢献するため、今後も業界に先駆けた新技術の開発を推進していく。



図 13 開発機を用いた直播作業
Fig. 13 Direct Seeding with the Developed Machine

SDGs のターゲットへの貢献

2.4 持続可能かつ強靱な農業の実現 圃場周辺への薬剤飛散量0の実現

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 直播同時施薬の実現により農業の生産性向上に貢献

15.1 陸域・内陸淡水生態系の保全、回復、持続可能な利用の確保 過剰な施薬をなくすことにより圃場外の生態系への影響を抑制

参考文献

- 1) 農林水産省:2015年農林業センサ調査結果の概要(2016) <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noucen/index.html>
- 2) 農林水産省:「攻めの農林水産業」の実現に向けた新たな政策の概要(第2版)(2014) www.maff.go.jp/j/pr/annual/pdf/semep_kaitei2.pdf

下水処理向け省エネ型散気装置「Kメンブレン」の実地性能調査

Research of the Performance in the Field of the Energy Saving Air Diffuser K-membrane Installed in Sewage Treatment Plants

環境プラント技術部

特集論文

3

下水処理向け省エネ型散気装置「Kメンブレン」の実地性能調査

下水処理の省エネニーズに応えるべく、クボタでは2010年に低圧損型メンブレン式散気装置「Kメンブレン」を開発し、これまで下水処理を中心に国内外合わせて39件の納入実績がある。今回、国内4ヵ所の下水処理場において稼働中のKメンブレンの実地性能調査を行い、いずれのケースでも長期間にわたって高い性能を発揮していることを確認したため、本論文にて報告する。また、Kメンブレンは国内だけでなく、東南アジアに輸出され、現地の水環境保全に貢献していることから、その事例についても紹介する。

【キーワード】

低圧損型メンブレン式散気装置 省エネ 酸素移動効率 嫌気好気兼用槽

Kubota developed a low pressure loss membrane diffuser (referred to as K-membrane) in order to reduce energy consumption in sewage treatment plants. K-membrane was adopted in 39 plans in Japan and overseas. We investigated the performance of K-membrane installed in sewage treatment plants and confirmed K-membrane had long-term high performance. We report the results in this paper. In addition, K-membrane is exported to Southeast Asia and it contributes to conservation of the water environment. We also introduce some cases in the area.

【Key Word】

Low Pressure Loss Membrane Diffuser Energy Saving Oxygen Transfer Efficiency Swing Reactor

関連する SDGs



1. はじめに

下水道施設の使用電力量は国内総使用量の約0.7%とその比率は高く、「省エネルギー」が必須課題として挙げられる。また、SDGsで求められている世界全体のエネルギー効率の改善の観点からも水処理におけるエネルギー利用の効率化は経済面と環境面双方から持続可能な社会に必要な不可欠な取り組みである。

下水処理工程において、下水中の有機物や窒素は反応タンクの微生物(活性汚泥)により分解・除去される。活性汚泥に効率よく空気を供給するために反応タンク内に散気装置が設置され、送風機より送られた空気は微細な気泡となり散気装

置より噴出される。送風機の消費電力量は下水処理施設の約30~60%を占めており、その容量(動力)は送风量×送気圧により決定される。従って、送風機の消費電力を低減させる高性能散気装置は下水処理の省エネに大きく貢献する。

国内下水処理市場では、高まる省エネニーズに応えるべく、2000年ごろより「メンブレンパネル式散気装置」が海外より導入された。メンブレン式散気装置は、微細な気泡を発生させることができるため酸素移動効率(送気した酸素量に対する水中に溶け込んだ酸素量の割合)が高く、送风量を低減することが可能である。一方、空気の出るスリット(孔)が小さいため、機器

の圧力損失(以下、圧損)が高く送風機の送気圧が高くなることや、目詰まりしやすい、等の欠点があった。

これらの問題を解消するために、クボタは高い酸素移動効率を維持しつつ目詰まりに強く、圧損の低い「低圧損型メンブレン式散気装置Kメンブレン」を他社に先駆けて開発し、2010年より販売を開始した¹⁾。Kメンブレンの概要を図1に示す。Kメンブレンは散気部を有する袋状のメンブレンシートと支持パイプ等で構成され、これまで下水処理を中心に国内で34件の納入実績を有する。

今回、実設備におけるKメンブレンの導入効果や長期運転性能に関する調査を行い、高い省エネ性能を発揮して運転していることが確認できたため、その結果について報告する。ま

た、Kメンブレンは海外でも5件採用されており、本論文ではその導入事例についても紹介する。

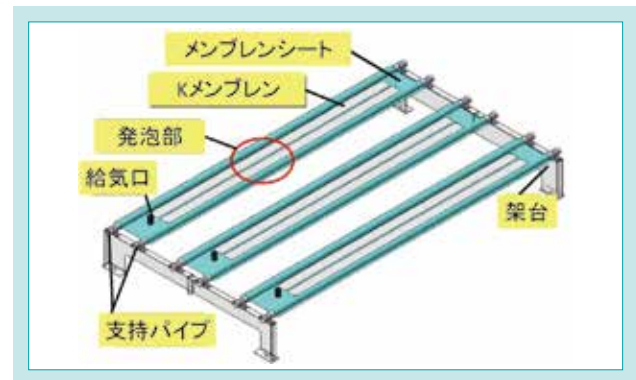


図1 Kメンブレンの構造
Fig. 1 Structure of the K-membrane

2. 開発製品のコンセプトと特徴

2-1 コンセプト

Kメンブレンは、「低い圧力損失と超微細気泡の両立による省エネの達成」をコンセプトに開発された製品である。

圧力損失に関して、Kメンブレンは気泡を噴出させるスリットを従来メンブレン式散気装置(以下、従来メンブレン)よりも3倍程度大きくして通気抵抗を減らすことで、散気装置の圧損を従来メンブレンの11 kPaから6 kPa以下とした。また、スリットを大きくしても超微細気泡の発生が可能と

なるよう、気泡がメンブレンの表面で成長する前に離脱する発泡部材質を選定した。その結果、酸素移動効率は、従来メンブレンと同じ設計値(28~31%)となった。これらの工夫により、処理水量10,000 m³/日の下水処理場を想定した試算では、Kメンブレンは従来メンブレンと比較し、約13%の省エネ効果(電力削減効果)を発揮する。

3. 解決に取り組んだ技術課題と調査項目

散気装置は下水処理の中核を担う技術であり、散気装置に運転不良があると水処理全体に大きな影響を与える。よって、散気装置は客先からの信頼性や実績が強く求められる。長期にわたる良好な運転実績(性能や耐久性)を客先に示すことで、Kメンブレンに対する信頼性を構築し販売促進に活用する

ことが重要である。

本論文ではKメンブレンが稼働している4つの下水処理場において、(1)酸素移動効率、(2)圧損の推移、(3)送風量の低減効果、(4)嫌気好気兼用槽への適用の4項目について調査を行った。

4. 開発技術の性能調査

4-1 実設備における酸素移動効率²⁾

4.1.1 調査の概要

実施設備において複数年稼働しているKメンブレンの酸素移動効率を測定することにより、初期と同等の高い性能を維持していることを確認する。今回の調査では最長で4年3ヵ月継続して稼働しているA下水処理場を対象とした。A下水処理場ではKメンブレンの稼働年数が2~4年と異なる3系列の反応タンクを有しており、その全ての系列で酸素移動効率の測定を実施した。調査時の測定条件を表1に示す。

稼働中の酸素移動効率を測定する方法としてオフガス法を採用した³⁾。オフガス法とは、一定時間に反応槽に吹き込む酸素量と、槽外に排出するガス(オフガス)中の酸素量の差を用いて酸素移動効率を算出する方法であり、稼働中の反応タンク(汚水)での測定が可能である。本調査では、設計値の酸素移動効率と比較するために、補正係数(α , β 値)を用いて、汚水の酸素移動効率を清水での酸素移動効率に換算した。測定方法を図2に示す。

表 1 酸素移動効率測定条件

Table 1 Measurement Condition of Oxygen Transfer Efficiency

項目	測定条件	
曝気方式	全面曝気式(硝化対応)	
測定日	2017年6月	
稼動年数(測定時)	1-1系(3年7ヶ月) 1-2系(4年3ヶ月) 2-1系(2年3ヶ月)	
流入水量	約3,400 m ³ /日・池(計画値の68%)	
反応槽流入水	水温	23 °C
	S-BOD	約 30 mg/L
MLSS	約 1,300 mg/L	
送风量	約800 Nm ³ /h・池(計画値の89%)	

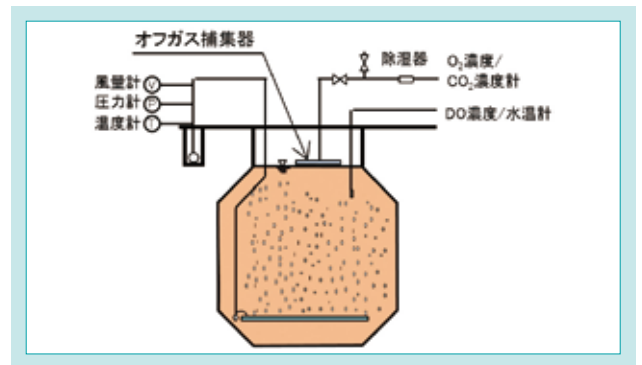


図 2 オフガス法測定方法

Fig. 2 Off-gas Measurement Method

4.1.2 調査結果

A下水処理場における酸素移動効率の測定結果を表2及び図3に示す。

今回対象とした系列の酸素移動効率の平均値は、34.3～35.2%であり、設計値28%(清水、5 m換算)よりも高い値であった。各年のKメンブレンの運転状況について、稼動年数が最も長い1-2系と他系列の酸素移動効率は同等程度であり、稼動年数の経過による酸素移動効率の低下は見られなかった。また、一般的に、水質や反応タンク内のMLSS(浮遊物質濃度)等の条件により汚水への酸素の溶け込みやすさは異なるが、今回の調査ではその指標となるα値の差は各系列でみられなかった。従って、系列の反応タンクの運用状況や散気装置の使用状況にも大きな差がないと考えられる。

本調査によってKメンブレンが高い酸素移動効率を維持して継続的に運転していることを確認した。なお同様のオフガス法測定による性能確認は他処理場でも実施しており、いずれの下水処理場でも設計値以上の性能で運転していることを確認している。

表 2 測定結果

Table 2 Measurement Results

測定対象	酸素移動効率(汚水)	酸素移動効率(清水、5m換算)	補正値
1-1系	21.0%	34.3%	α : 0.66 β : 0.99
1-2系	19.7%	34.5%	α : 0.71 β : 0.86
2-1系	20.9%	35.2%	α : 0.74 β : 0.87

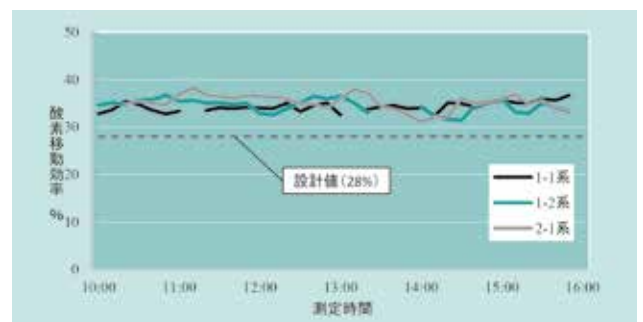


図 3 酸素移動効率の経時変化

Fig. 3 Temporal Variation of Oxygen Transfer Efficiency

4 - 2 実設備における圧力損失の推移

4.2.1 調査の概要

B下水処理場において複数年稼動しているKメンブレンの圧損を継続的に測定することで、目詰まりなく安定的に稼働していることを確認する。既設の散気装置と同じ散気水深(4.2 m)に本装置を設置し、既設の空気管から分岐した空気源で運転を行った(図4、5)。

運転時の圧損(池内配管及び风量調整弁の圧力運転時の圧損、池内配管及び风量調整弁の損失を含む)はマンメータで測定した。また、年に1回実施される反応タンクの開放点検の際、使用中のKメンブレンを一部持ち帰り、発泡部の強度的な劣化がないか確認した。

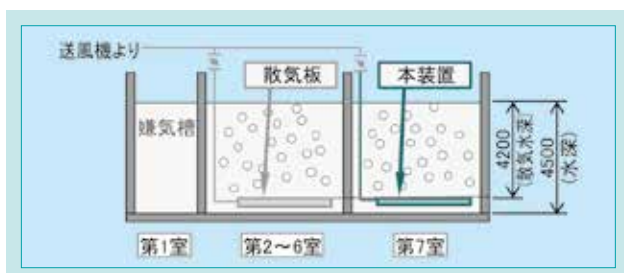


図 4 Kメンブレン配置概要

Fig. 4 Diagram of the K-membrane Arrangement



図 5 現地での曝気状態 (2018年8月)

Fig. 5 View of Aeration in the Field (August 2018)

4.2.2 調査結果

2009年12月から2018年8月までの圧損の経日変化を図6に示す。2011年1月～2018年8月まで約7年半(反応タンクの点検による運転停止を含む)、圧力損失上昇予防操作(膜表面に付着した生物膜を除去する操作)を行わずに連続運転を行った。本散気装置の圧損は約2.5～4 kPa程度



図6 Kメンブレン圧力損失の推移

Fig. 6 Variation of the Dynamic Wet Pressure of the K-membrane

で推移し、設計値6 kPa以下で目詰まりなく安定して運転している。

また、発泡部の強度試験の結果を図7に示す。引張強さは新品と6年間稼働後の使用品に大きな差はなく、強度的な劣化が生じていないことを確認した。

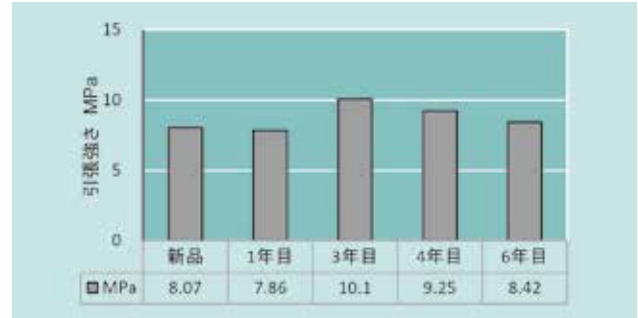


図7 発泡部の引張強度

Fig. 7 Tensile Strength of the Membrane

4-3 実設備におけるKメンブレン導入による送風量低減効果⁴⁾

4.3.1 調査の概要

C下水処理場にてKメンブレン導入による反応タンク送風量の削減効果を調査した。

本施設では、2013年度10月までセラミック製散気板(旋回流式)を使用していたが、2014年度4月からKメンブレンの供用を開始している。2012～2013年度のセラミック製散気板での送風量と2014年度のKメンブレンの送風量を比較した。本調査の測定条件を表3に示す。

表3 送風量低減効果の測定条件

Table 3 Measurement Condition of the Reduction Effect of the Air Blow Volume

項目	測定条件	備考
曝気方式	全面曝気式	2014年3月～運転開始
処理水量	19,500 m ³ /日/池	日最大汚水量
送風量制御	DO一定制御(反応タンク末端) DOにより放風弁・風量調整弁開度制御 ブロウ本体での風量制御はなし	
反応タンク送風量	オリフィス流量計	空気管内
放流量	潜水型電磁流量計	最終沈殿池末端

4.3.2 調査結果

2012年4月～2014年3月までの送風量の測定結果を図8に示す。送風量は2012～2013年度のセラミック製散気板では平均650万 m³/月であったが、Kメンブレン導入後の2014年度では平均420万 m³/月まで約35%減少した。散気板運転時は常時送風機を2台運転していたが、本散気装置導入後は送風機総運転時間(2台分合計)が42%削減された。また、反応タンク中の溶存酸素濃度(DO)や、水質(COD、全窒素、全リン)は散気板使用時とほとんど差異はなく、少ない空気量で同程度の水処理が行われていることを確認した。

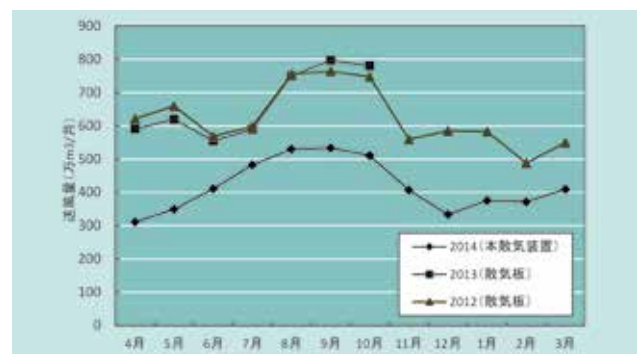


図8 送風量の推移

Fig. 8 Variation of the Air Blow Volume

4-4 嫌気好気兼用槽でのKメンブレンの適用

4.4.1 調査の背景

下水処理工程では、反応タンクにて、活性汚泥へ酸素を供給する好気運転や、酸素を供給せず活性汚泥の攪拌のみを行う嫌気運転に加え、季節や時期に合わせこれらの条件を切り替える嫌気好気兼用槽として運転することがある。

処理場の多様な運転に対応するべく、嫌気・好気の切替え運転が可能な省エネ型兼用槽システムとして、クボタではKメンブレンと自社製品である低動力型攪拌機「Kウイング」を組合せた、「クボタ兼用槽システム」を開発した。本システ

特集論文
3

下水処理向け省エネ型散気装置「Kメンブレン」の実地性能調査

ムでは、Kウイングが発生させる下向流による影響を避けるために、KメンブレンはKウイングの直下を避けて配置することを基本としていた。そのため、Kメンブレンの曝気方式は「両旋回流式」となり(図9)、反応タンクの底部に散気装置を敷き詰めて配置する「全面曝気式」に比べて酸素移動効率が

表 4 酸素移動効率の選択 (全面・旋回流)

Table 4 Selection of the Oxygen Transfer Efficiency

散気方式	散気水深 (m)	酸素移動効率 (%)	
		硝化対応	標準設計 (硝化抑制)
全面曝気	5.0	28	31
片旋回流 両旋回流	5.0	26	30

劣ってしまう(表4)。

そこで、クボタ兼用槽システムの更なる省エネ化を目的に、Kウイング直下へのKメンブレンの配置を可能とするための調査を実施した。

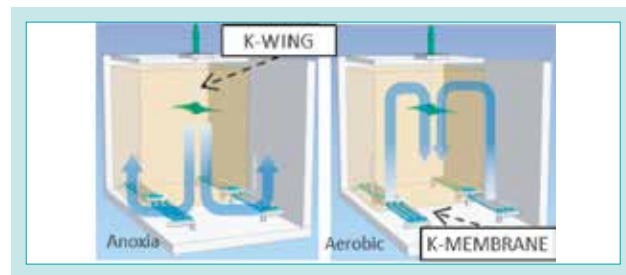


図 9 クボタ兼用槽システム

Fig. 9 Kubota Swing Reactor System

4.4.2 調査概要

D下水処理場では、Kウイングの直下にKメンブレンが反応タンク底部全面に配置されている(図10)。本機場では、供用開始以降、基本的にKウイングのみを稼働させており(嫌気運転)、Kメンブレンは運転していない。

今回の調査では、供用開始から4年10か月後に反応タンクの点検を行い、Kメンブレンに損傷等がないか目視にて確認を行った。また、サンプルとしてKメンブレンを1枚社内を持ち帰り、試験水槽にて曝気状況を確認した。



図 10 D 下水処理場兼用槽

Fig. 10 Swing Reactor in the D Sewage Treatment Plant

4.4.3 調査結果

現地調査の結果、Kメンブレンには全く傷がなかった。また、持ち帰ったサンプルを試験水槽で曝気したところ、空気漏れ等の損傷はなく、良好な状態であることを確認した(図11)。更にこのサンプルに設計値の空気量を供給し圧損を測定したところ約2.6 kPaであり、設計値の6 kPaよりも低く、目詰まりが生じていないことを確認した。

なお、Kメンブレンを反応タンクの底部全面に配置した場

合、Kウイングの攪拌性能への影響が懸念される。そこで、Kウイング1台で攪拌可能な最大寸法のモデルケースにて流体解析を行った。その結果、図12に示す通り、Kメンブレンが底部全面に配置された場合でも、槽内の汚泥攪拌に必要な流速である0.1 m/s以上が槽底部のほぼ全面に渡って確保されることを確認した。以上より、クボタ兼用槽システムに全面曝気を採用することが可能であることを確認した。



図 11 持ち帰り品の曝気状態

Fig. 11 Condition of Aeration of the K-membrane Used in the Field

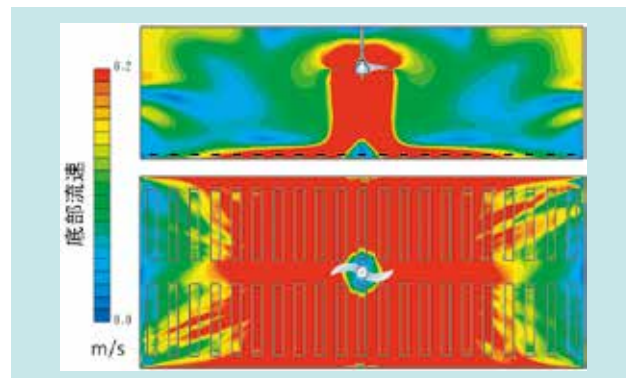


図 12 兼用槽での流体解析 (攪拌機のみ運転)

Fig. 12 Fluid Analysis Result of the Swing Reactor at Anoxic Mixing

5. 海外での導入事例

Kメンブレンは東南アジアに輸出され、現地の水環境保全に貢献している。

ミャンマーのティラワでは、日本、ミャンマー両国の協力のもと新たな工業団地が開発され、現地の水処理システム整備をクボタで請け負った。「環境規制を満足しつつ、ランニングコストを抑制するため、省エネな機器を採用する」というコンセプトのもとで、本地区の下水処理機器としてKメンブレンが選定され、現在4,800 m³/日の処理を行っている(図13)。また、同地区内に設置された大手食品メーカー工場の排水処理でもKメンブレンが採用されている。

また、ベトナムのPhong Khe製紙村では、工場排水が未処理のまま放流され、大きな環境問題となっていた。Phong Khe製紙村の環境対策事業が国で承認され、2013年にクボタが排水処理設備を受注した。本処理設備では、省エネルギーで排水を処理したいというニーズに応えるべく、Kメンブレンが導入された(図14)。処理水量は約5,000 m³/日であり、一般的な生活排水に比べて有機物濃度等の負荷が高い処理条件であるが、現在でも安定して運転を続けている。



図 13 ミャンマーティラワに導入された K メンブレン
Fig. 13 K-membrane Installed in the Thilawa SEZ Zone



図 14 ベトナムに導入された K メンブレン
Fig. 14 K-membrane Installed in Vietnam

6. おわりに

今回、複数の下水処理場にて納入後の低圧損型メンブレン式散気装置「Kメンブレン」の実地性能調査を行い、いずれも安定的な省エネ性能を発揮していることを確認した。また、嫌気好気兼用槽への全面曝気式の適用性を確認し、従来の兼用槽システムよりも更に省エネ運転が可能であることが示唆された。

今後、国内外問わず省エネニーズは一層高まることが予想

される。特に、反応タンクの中核を担う散気装置には、下水処理の省エネ化を達成するために、長期に渡って高い性能を発揮することが求められる。今回の調査では、Kメンブレンの信頼性向上に大きく貢献するデータが得られた。この結果を販売促進に活用し、グローバル・メジャー・ブランド・クボタの一員としてKメンブレンを国内外により一層普及させることで、下水処理の省エネ化や水環境保全に貢献していく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

- 6.2 下水施設・衛生施設へのアクセスの強化 国内31件、海外5件で安定的な下水処理に貢献
- 7.3 エネルギー効率の改善 下水処理の省エネ化に貢献
- 9.4 環境に配慮した技術の導入によるインフラ改良 資源利用効率の向上による持続可能性の向上に貢献

参考文献

- 1) 北川義雄ほか:低圧損型メンブレン式散気装置(Kメンブレン)の開発 クボタ技報第47号、(2014)、pp.18-23
- 2) 小野亮輔ほか:低圧損型メンブレン式散気装置の経年性能等に関する考察 第55回下水道研究発表会講演集、(2018)、pp.950-952
- 3) 公益社団法人日本下水道協会:下水道試験法上巻-2012年版- pp.690-696
- 4) 杉山翔ほか:反応タンク向け水処理機器フィールド運転報告 第53回下水道研究発表会講演集、(2016)、pp.902-904

北米向け MBR 制御システムの開発

Development of the MBR Control System for the North American Market

膜システム部

特集論文

4

北米向け MBR 制御システムの開発

膜分離活性汚泥法(MBR)は敷地スペースに余裕がない地域での排水処理や、処理水を再利用する場合に適した処理法である。SDGsの実現に向けて、世界の人々が本技術を利用しやすくするには、MBRシステムのコスト低減が必要である。そこで、MBRシステム構成機器の運転を最適化する制御手法でコスト低減にアプローチした。本開発では、クボタ保有のMBRに関する知見に基づき、膜洗浄、ろ過量、膜ばっ気、汚泥量について制御手法を考案、実験を通じてそれらの制御仕様を決定した。そして、下水を対象に、本制御を適用したMBRシステムで試験を行い、ろ過の持続性を実証した。本開発により、より効率的なMBR処理が可能となり、これに伴い、従来比フラックス10%増、膜ばっ気量最大30%減での設計が可能な、より低コストのMBRシステムを実現した。

【キーワード】

膜分離活性汚泥法、液中膜®、制御システム、コスト低減

Membrane Bioreactor (MBR) is a treatment method suitable for the reuse of treated water. For SDGs to be achieved, it is necessary to reduce the cost of the MBR system in order to increase the availability of this technology. Therefore, we aimed at cost saving by establishing the MBR control method. In this development, control specifications were decided based on findings on MBR possessed by KUBOTA and by conducting experiments. Then, the sustainability of membrane filtration was demonstrated through testing in municipal MBR systems with this control. In conclusion, we showed that more efficient MBR processing is possible, and accordingly, we succeeded in making a lower cost MBR system that can be designed with 10% increase in flux and up to 30% reduction in the air scour rate compared with the MBR system without this MBR control system.

【Key Word】

MBR, KUBOTA Submerged Membrane Unit®, Control System, Cost Saving

関連する SDGs



1. はじめに

膜分離活性汚泥法(以下「MBR」という。)は、微生物の浄化能力と、膜による固液分離能力を組み合わせた、排水浄化技術である。従来の処理技術に比べて、省スペースかつ品質の高い処理水を得られることが特徴である。このため、敷地に余裕がない地域・工場での排水処理や、処理水を再利用する場合に適している。従って、MBRはSDGsの一つ「全ての人々の水と衛生の利用可能性の確保」に貢献できる技術である。

液中膜®は、MBRに用いられる膜ろ過装置である(図1参照)。クボタは、MBR技術のパイオニアとして、世界で膜装置販売事業を、北米では、膜システム販売事業(液中膜、ブロウ、ポンプ、制御盤などの周辺機器の設計・調達・据付指導)を展開している。現在、6,000件以上の排水処理施設での実績を誇り、MBR市場をけん引する。

SDGsの一つ「安全な水を世界中に」を実現するには、MBR

システムのコスト低減を追究する必要がある。それには、液中膜[®]の改良開発(図2)¹⁾だけでなく、液中膜[®]を含むシステム構成機器の運転条件の最適化を欠かすことができない。そこで、液

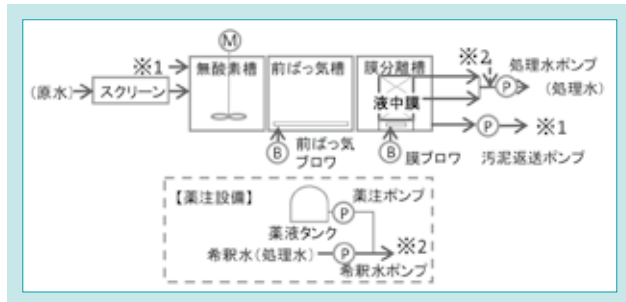


図1 基本的な MBR プロセスフロー
Fig. 1 Basic MBR Process Flow

中膜[®]及び周辺機器の運転条件を最適化する制御手法を開発した。本稿では、開発の取組み状況について紹介する。



図2 近年の液中膜の開発（左：低水深対応、右：大規模処理対応）
Fig. 2 Recent Development of KUBOTA Submerged Membrane Unit[®] (Left: For Lower Water Depth MBR Facility, Right: For Large Scale MBR Facility)

2. 開発のコンセプトと目標

2-1 開発のコンセプト

液中膜[®]の上市当時、排水処理市場へのMBRの浸透を早めるために、クボタは「シンプル」をコンセプトにMBRシステムを構築した。そのため機器は単純なON/OFF制御を行い、一定の値で運転した。また、液中膜[®]に関しては定期的に必要とされる薬液洗浄を手動で行うことを基本とし、人件費を抑えるために、数ヶ月に1回程度と、薬液洗浄頻度の少ないMBRシステムを志向した。そのため、膜への負荷を小さくする必要があり、安全率を高く見込んでMBRシステムを設計していた。これがMBRシステムのコストを高める原因の一つであった。

一方で、MBRが市場に浸透し、また、対象処理規模が、大規模になるにつれて、自動運転を進め省力化を図

る傾向が見られた。薬液洗浄も自動化されるため、この市場では、システム全体のコストが低減するのであれば、薬液洗浄頻度の制約は少ない。

そこで、本開発は、制御技術を活用し、「効率化」をコンセプトとする新たなMBRシステムの確立を目指した。

- ・ 膜洗浄を積極的に行う制御の確立で、膜の負荷量（ろ過量）を高めた設計を実現。
- ・ 排水の流入に応じて、きめ細やかに運転条件を調整する制御の確立で、機器の運転効率を向上。

メインターゲットは、クボタが膜システム販売事業を展開する北米地域、また、コスト低減のために制御を積極的に導入する傾向のある、大規模下水市場とした。

2-2 目標値

2.2.1 開発目標値

従来のシステムに比べて、ろ過効率の高い設計諸元の採用と、使用範囲の拡大をにらみ、開発目標値を定めた。

MBRシステムの代表的な設計諸元に、フラックス、膜ばっ気量、及び膜分離槽MLSSがある。

フラックスは、膜面積あたりのろ過量を示す。フラックスが上がると液中膜の台数が減り、イニシャル及びランニングコストが減る。

膜ばっ気は、ブロウから供給され、エアリフト効果で汚泥循環流を起こすことにより、ろ過に必要な膜洗浄の役割を果たす。膜ばっ気量が減るとブロウの消費電力が減り、ランニングコストが減る。

MLSSは、活性汚泥(微生物群を示す。以下「汚泥」という。)の濃度であり、この値が大きいと、水槽容積あたりの生物処理能力が高まる。また、MLSSの適用範囲が広がる

と、季節や流入条件負荷の変化に応じた柔軟な運転が可能になり、ランニングコストが減る。

これらの設計諸元に関する開発目標値を表1に示す。

表1 MBRシステム設計諸元に関する開発目標値
Table 1 Development Target for MBR System Design Parameters

設計諸元	目標値
フラックス	従来のMBRシステム適用時と比べて、10%以上UP
膜ばっ気量	従来のMBRシステム適用時と比べて、5~30% DOWN
MLSS	5,000~14,000 mg/L (従来5,000~13,000 mg/Lに比して、使用範囲拡大)

2.2.2 コスト効果試算

本開発によるMBRシステムの20年間におけるライフサイクルコスト(LCC)の変化を示す。MBRシステムのコストは、排水の設計と件(流入条件、等)で異なるため、ここでは一例として報告する。

表2に示す北米下水で一般的な設計と件に基づき、薬注設備含む膜分離槽周りを範囲として試算した。結果を図3に示す。

表 2 MBR システムのコスト試算条件 (原水、処理水条件)
Table 2 Calculation Condition of the Life Cycle Cost of the MBR System

項目	条件
原水流入量	月最大水量 2.5 MGD (9,463 m ³ /d)
	時間最大水量 5.0 MGD (18,925 m ³ /d)
原水水質	SS 250 mg/L
	BOD ₅ 250 mg/L
	T-N 50 mg/L
	水温 12 °C
処理水水質	SS <2 mg/L
	BOD ₅ <2 mg/L

図3より、本ケースでは、機器費及び電力費の低減効果が寄与して、インシヤルコストで8.6%、ランニングコストで21.6%、LCCで15%低減することが確認される。

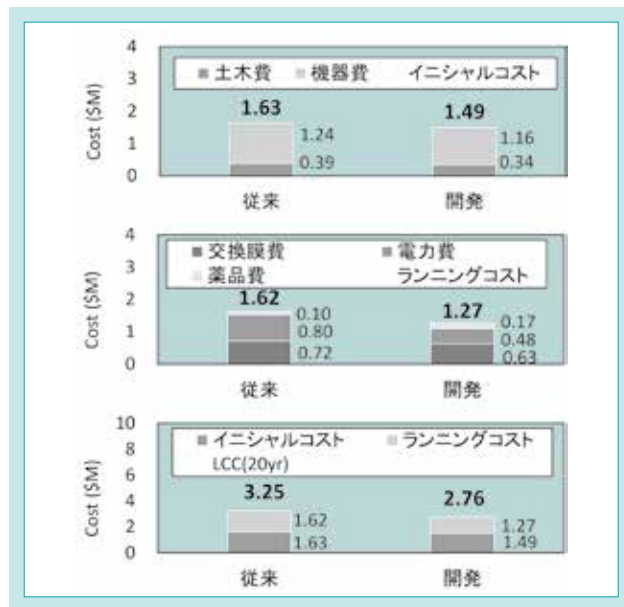


図 3 開発効果例：膜分離槽まわりの LCC 比較
(上：インシヤルコスト、中：ランニングコスト、下：LCC)
Fig. 3 Example of Development Effect: Comparison of LCC
(Top: Capital Costs, Center: Operation Costs, Bottom: LCC)

3. 解決すべき技術課題

本開発は、スピードを重視し、実績を通じ獲得してきた知見に基づき、制御手法を確立させることにした。

- ・ 処理施設への下水の流入量は、人々の生活行動に沿って変動するため、夜間は非常に少ない。
- ・ 原水量が少ない時は、ろ過量も少なくしてよい。更に、流入負荷(濃度×量)が小さいので、汚泥循環量、汚泥引き抜き量も少なくしてよい。
- ・ 原水量が少ない時に、積極的にろ過を停止させれば、無理なく膜洗浄を活用できる。
- ・ 膜洗浄を積極的に活用できれば、設計フラックスを低く見積もる必要はなくなる。
- ・ 膜ばっ気量は、運転フラックス、汚泥の粘度に応じて必要量が変化する。

これらの知見に基づき、4つの制御パッケージで構成する MBR制御システムの確立を目指した。膜洗浄制御、ろ過量制御、膜ばっ気制御、及び汚泥量制御である(図4)。

- (1) 膜洗浄制御は、膜に付着した汚泥中のコロイドの除去で、常に膜をきれいな状態に保ち、膜の透過性能を高く維持することを目的とする。ろ過量とろ過圧力のモニタリングより、膜の汚れ程度を把握し、膜の汚れ程度に応じて、膜洗浄の種類を決定、ろ過が停止しているときに、洗浄の種類

に応じて、薬注ポンプ等必要な機器を動作させる制御である。

- (2) ろ過量制御は、効率的なろ過を行うことを目的とし、水槽内の汚泥水位のモニタリングより、汚泥量の増減割合を把握し、単位時間あたりの原水の流入量を算出、原水流入量に応じてろ過量を決定し、ポンプを動作させる制御である。流入量に応じて膜ろ過が行えるとともに、原水量が少ないときは、非効率なろ過を行わず、積極的にろ過停止時間を作り出すことができるので、必要に応じて膜洗浄が実施できる。
- (3) 膜ばっ気制御は、ろ過量とMLSSをモニタリングし、測定値に基づき必要膜ばっ気量を算出し、膜ブロウを動作させる制御である。汚泥粘度の代用として汎用計測器が存在するMLSSを採用している。従来、一定量で膜ばっ気を行っていたが、本制御により、原水の流入が少なくフラックスが小さいときに、膜ばっ気量を低減できるため、省エネ運転につながる。フラックス、MLSSが高く、膜に汚泥中の固形物(以下「SS」という。)が多量に付着し、付着の進行で膜を閉塞し易い条件では、膜ばっ気量を高めることで汚泥閉塞リスクを低減できる。
- (4) 汚泥量制御は、ろ過量制御と同様に原水量を算出、原水

量に応じて、汚泥循環量と汚泥引抜量を決定し、汚泥返送ポンプ等を動作させる制御である

制御手法確立には、これまで定性的な表現に留まっていた知見を定量的に表現し、制御式を決定する必要があった。

また、MBRシステムへの要求品質は、「ろ過の持続性」である。処理設備の不具合で、排水の流入を計画なしに止めることはできない。開発するMBRシステムでは、膜の負荷を高めた運転を行うことになる。これにより、膜装置の破損や、膜への汚泥閉塞で、ろ過が持続できなくなるリスクが高まると考えられた。そのため、実際に適用し、ろ過の持続性を実証する必要があった。

以上のように、本開発の技術課題は、下記2点であった。

- ・ 制御式の策定
- ・ ろ過の持続性の実証

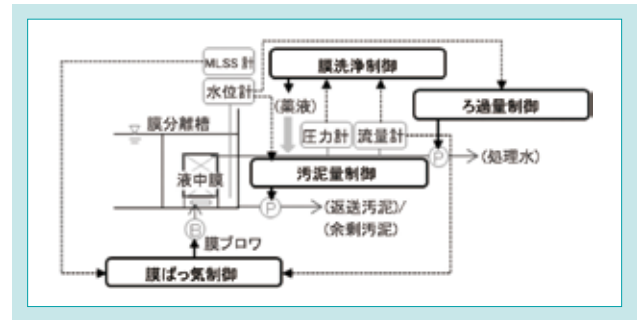


図 4 MBR 制御システムの制御パッケージ
Fig. 4 MBR Control Packages

4. 開発技術

本項では、膜洗浄制御と膜ばっ気制御に関する技術課題へ

の取り組みを中心に報告する。

4-1 膜洗浄制御技術

4.1.1 概要

膜洗浄制御で扱う膜洗浄の種類は、リラクセーション、低濃度メンテ薬洗、高濃度メンテ薬洗、及び酸洗浄の4つである。いずれも膜に付着した汚泥中のコロイドの除去を目的とする。各洗浄の概要を表3に示す。

従来のシステムでは、0.3~0.6%Clの次亜塩素酸ソーダを用いて数か月に1回(高濃度メンテ薬洗)、1.0%の酸性薬液を用いて数か月に1回の膜洗浄(酸洗浄)のみを実施していた。

この膜洗浄制御を適用することで、薬液と膜の接触時間、薬液の注入回数が、これまでより増加する。このため、膜への化学的・物理的負荷が高まり、膜装置破損のリスクが高まると考えられた。

これに対し、期待寿命において、膜装置破損のリスクが小さいことを実証し、ろ過の持続性を担保した。

表 3 膜洗浄制御で用いる膜洗浄の概要

Table 3 Outline of Cleaning Methods Using Membrane Cleaning Control

洗浄	概要
リラクセーション	<ul style="list-style-type: none"> ・膜面に付着した物質の剥離が目的。 ・ろ過を行わず、膜ばっ気のみを実施。 ・1日~数日に1回、1回に1時間程度実施。
低濃度メンテ薬洗	<ul style="list-style-type: none"> ・膜面に付着した有機物の除去が目的。 ・0.06 %Clの次亜塩素酸ソーダを、ろ過2次側から膜装置に注入し、所定時間静置する。 ・数日~数週間に1回、1回に1時間程度実施。
高濃度メンテ薬洗	<ul style="list-style-type: none"> ・膜面に付着した有機物の除去が目的。 ・0.2~0.6%Clの次亜塩素酸ソーダを、ろ過2次側から膜装置に注入し、所定時間静置する。 ・数か月に1回、1回に2時間程度実施。
酸洗浄	<ul style="list-style-type: none"> ・膜面に付着した無機物の除去が目的。 ・0.2~0.6%の酸(クエン酸、等)を、ろ過2次側から膜装置に注入し、所定時間静置する。 ・数か月に1回、1回に2時間程度実施。

4.1.2 技術課題への取り組み「耐久性確認によるろ過持続性の担保」

汚泥中に液隔膜®を設置し、ろ過と膜洗浄を繰り返し、その耐久性を確認した。

期待寿命10年において実施が想定される膜洗浄(低濃度メンテ薬洗53回/年、高濃度メンテ薬洗4回/年、リラクセーション365回/年)を目安に行った。耐久性の判断は、膜分離の基本性能である固液分性能が維持されることとし、指標に処理水濁度を、基準値に0.2 NTU以下を採用し実施した。

結果を図5に示す。

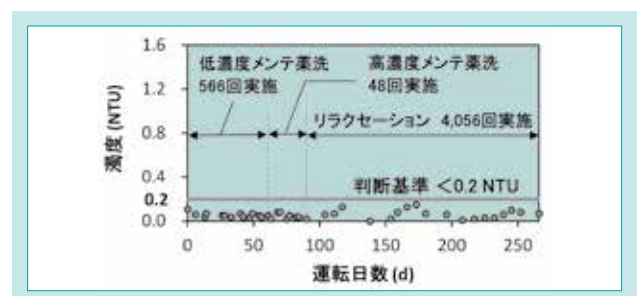


図 5 耐久性試験結果：処理水濁度の経日変化
Fig. 5 Result of Durability Test: Time vs Effluent Turbidity

処理水濁度は増加傾向を示すことなく、0.2 NTU以下を維持した。このように耐久性試験の実施で、期待寿命10

年分の膜洗浄負荷をかけても膜装置は破損なく、固液分離性能を保持することを確認した。

4 - 2 膜ばっ気制御

4.2.1 概要

膜に汚泥中のSSが付着しないための最小限の膜ばっ気量を必要膜ばっ気量と示す。この値は、フラックス、MLSSに依存する。それらの関係を定量的に表現し、膜ばっ気量制御式として決定した。

また、汚泥による膜閉塞のリスクが高いとされるMLSS条件(12,000 mg/L以上)の環境で、本制御の適用においても、液中膜[®]が閉塞を起こすことなく、ろ過を持続可能であることを実証した。

4.2.2 技術課題への取り組み「制御式の決定」「ろ過の持続性確認」

(1) 膜ばっ気量制御式の決定

生活排水処理施設の汚泥中に、液中膜[®]を設置し、フラックス、MLSSごとの必要膜ばっ気量を求める実験を行った。フラックスの上昇に伴い、またMLSSの上昇に伴い必要膜ばっ気量は増加した。

この結果より、フラックス、MLSSと必要膜ばっ気量の関係は、所定の式(式(1))で近似できることを確認し、これを制御式に定めた。本式は、非公開のクボタノウハウとして、詳細は割愛する。なお、式(1)は、制御のみならず、MBRシステム設計において膜ばっ気量設計値を決定する算出式としても使用する。

$$\text{膜ばっ気量} = F(\text{フラックス}, \text{MLSS}) \quad (1)$$

(Fはフラックス、MLSSの重関数)

(2) ろ過の持続性確認

下水処理場内の実験施設において、MLSSが約13,000 mg/Lの条件で、1か月間の運転を行った。実験条件を表4に示す。式(1)で示す制御式が別施設でも適用可能であることを確認するため、実験は前項と異なる施設で実施した。汚泥による膜閉塞なしの判断は、指標に膜モジュールの重量を、基準値に23 kg/台を採用し実施した。その結果、ろ過が中断することはなく運転を継続し、試験終了時の膜モジュールは、いずれも20~21kg/台の範囲にあり、

汚泥による膜閉塞がなかったと判断した。試験終了時の膜モジュール外観を図6に示すように、外観からも膜の閉塞は確認されなかった。

以上のように、実証試験を通じ、高MLSS運転におけるろ過の持続性を実証した。

表4 高 MLSS 運転確認試験条件

Table 4 Confirmation Test Condition for High MLSS Operation

項目	運転条件
液中膜型式	SP40, (膜モジュール4台)
フラックス	0.70 m/d
膜ばっ気量	平均0.36 Nm ³ /min (0.32~0.40) ※膜ばっ気量基準値(0.4 Nm ³ /min)
MLSS	平均12,700 mg/L (11,200~13,900)
水温	平均13°C (10.2~16.0)



図6 実験装置 SP40と試験終了時の膜モジュール外観
Fig. 6 Experimental Membrane Unit SP 40 and Appearance of the Membrane Module at the End of the Test

4 - 3 MBR 制御システムの実証

これまで述べてきた開発成果を統合し、開発目標に定める運転条件において、膜ろ過が持続可能であることを確認する目的で実証実験に取り組んだ。

そこで、下水処理場内の実験施設において、従来システム(系列A)でのろ過状況と、開発システム(系列B)でのろ過状況を比較した。

装置フローを図7に、運転条件を表5に示す。原水の流入量は、下水の流量特性を考慮し、予め時間帯別に定

め、それに応じて、各系列のろ過量(フラックス)を定めた。系列Bは、系列Aよりも10%高いフラックスで運転した。系列Bの膜ばっ気量はフラックスとMLSSに応じて調整した。結果的に、系列Aよりも19%低い膜ばっ気量で運転した。

なお、系列B(開発システム)では、夜間に1時間の休止工程を設け、膜の汚れ状況に応じて膜洗浄を実施した。

ろ過時のろ過圧力の経時変化を図8に示す。同じフラックスであればろ過圧力が高いほど膜が汚れていることを

示す従来システムでは、フラックスが高い時に、急激にろ過圧力が上昇し、翌日、急遽、ろ過を中断し、薬液洗浄を実施せざるを得ない状況が発生した。

一方で、開発システムでは、フラックスが高い時に、ろ過圧力が上昇するものの、予め計画していた膜洗浄を適宜実施することで、透過性能が回復し、計画なくろ過を中断することなく、運転を継続した。

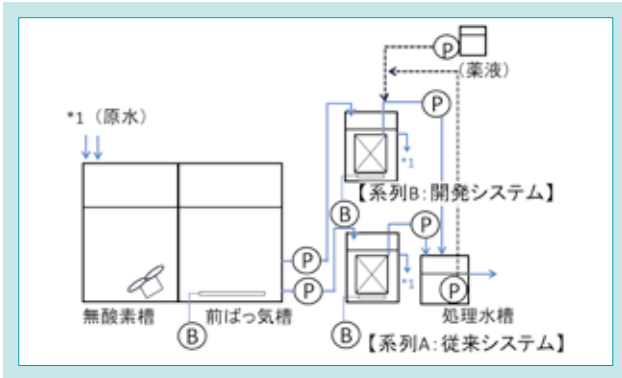


図7 実証プラントの処理フロー
Fig. 7 Process Flow of the Test Plant

表5 比較試験条件
Table 5 Comparison Test Conditions

項目		従来システム	開発システム
フラックス	通常運転	0.82 m/d	0.90 m/d
	ピーク運転 ¹⁾	1.40 m/d	1.60 m/d
	日平均	0.92 m/d	1.02 m/d
MLSS		平均11,000 mg/L (10,300~11,200)	

1) 1日に4時間、ろ過量を高めた運転を実施。

以上のように、従来システムと、開発システムの比較試験を通じ、開発目標に示す運転におけるろ過の持続可能性を実証した。

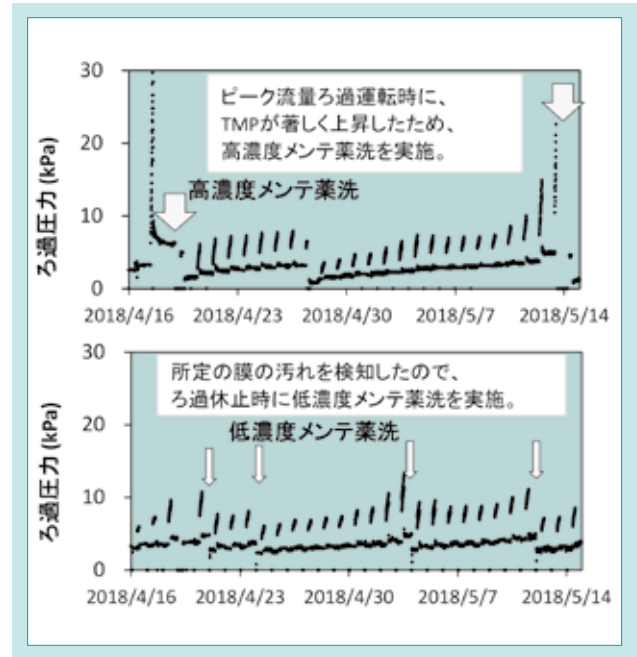


図8 ろ過圧力の経日変化 (上:従来システム、下:開発システム)
Fig. 8 Time vs Filtration Pressure (Upper: Conventional Control System, Lower: Developed Control System)

5. おわりに

MBRは、「人々の水と衛生の利用可能性を確保する」技術として有用である。この技術を、世界の人々が利用しやすくなるには、MBRシステムのコスト低減が必須である。本テーマは、MBR制御手法の開発をすることにより、コスト低減にアプローチした。

水質保全や水再利用への関心からMBRへの注目が高い北米において、本開発の採用により、クボタの膜システム販売事業が、2020年には2018年に対して34%増加する見込みである。これは、合計で数万人処理規模のMBR設備を納めることを示

し、この規模で人々の排水処理・再利用にクボタが貢献するといえる。

2018年11月、クボタ北米水・環境研究所にて、より低コストのMBRシステムを実現を図り、本開発の制御手法をブラッシュアップしながら、クボタMBRシステムの限界設計値を見極めるための実証実験を開始した。今後も、液中膜[®]、及び液中膜[®]を用いたMBRシステムの技術開発を進め、世界のより多くの人々に、安全な水を届けることに貢献する所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

- 6.3 未処理排水の削減、再生利用等による水質の改善 6,000か所以上の排水処理に携わり水質保全、水再利用に貢献
- 7.3 エネルギー効率の改善 電力費の低減に貢献
- 9.4 環境に配慮した技術の導入によるインフラ改良 資源利用効率の向上による持続可能性の向上に貢献

参考文献

1) 滝川康信、新開忠雄、:「液中膜SPシリーズの改良開発」クボタ技報49号、(2016)、pp.74-79

国内向け超小旋回型ミニバックホー RX-506 の開発

Development of the Minimal Swing Radius Type Mini Backhoe RX-506 for the Japanese Market

建設機械技術第一部

特集論文

5

国内向け超小旋回型ミニバックホー RX-506 の開発

国内向け超小旋回型ミニバックホーRX-506は、国内排出ガス規制(2014年基準)に対応したフルモデルチェンジ機である。従来機で好評を得ている車格(車幅、全高、後端半径、作業範囲)を継承し、排出ガス規制対応による売価アップに対して、コストパフォーマンスを維持できる付加価値を設け、競争力のある製品を目指して開発を行った。①クボタオリジナル省エネ機能の搭載 ②フロント作業機の新規開発 ③整備性向上を図り付加価値を設けた。

【キーワード】

ミニバックホー、排出ガス規制、省エネモード、可変ゲイン制御
フロントホース内装化、ワンサイドメンテナンス

The new minimal swing radius type mini backhoe RX-506 which has been placed on the Japanese market was developed as a new model to meet new emission regulations in Japan. This model was developed aiming at differentiation from the competitor's model by attaching added value that can maintain cost performance against an increase in the selling price due to the new emission regulations, and retains the basic performance of the current model which obtained a good reputation. The following three points represent the added value of the RX-506. 1. KUBOTA original energy saving mode system. 2. New development of front attachments. 3. Improvement of maintenance.

【Key Word】

Mini Backhoe, Emission Regulations, Energy Saving Mode, Variable Gain Control
Routed the Front Hose Through the Front Inside, One Side Maintenance

関連する SDGs



1. はじめに

国内向け5tクラス超小旋回型ミニバックホーは、2001年にフルモデルチェンジ機が導入された。その後、クレーン仕様追加、3次排出ガス規制対応等のマイナーチェンジを重ねながら、2007年に投入したRX-505(従来機)は、車格、作業性、整備性等がレンタル市場に受け入れられてシェアを伸ばしてきた。この間、競合他社も大規模なモデルチェンジを行わなかったため、更にシェアを伸ばすことができたが、2014年基準の特定特殊自動車排出ガス規制に対応する必要が生じ、これを機に競合他社もモデルチェンジを行うことが予想された。また、排出ガス規制対応による売価アップをそのまま製品価格に転嫁できないため、排出ガス規制における売価アップに対する付加

価値を設け、割高感を抑制する必要があった。コストパフォーマンスのある製品にするために、売価アップを抑えながら、環境に配慮した付加価値の高い製品を開発する必要があった。従来機で好評を得ている車格(車幅、全高、後端半径、作業範囲)は継承し、陳腐化したデザインを一新し、排出ガス規制対応を進めるうえで以下2点を解決すべき課題とし、コストパフォーマンスの高い機械を開発する(図1、表1)。

- (1) 省エネ化と作業効率を両立した機能を設けること。
- (2) 市場から要望のあるフロントホースの内装化を実現することで外観デザイン刷新とランニングコスト低減を図ること。



図1 RX-506 外観
Fig. 1 Appearance of RX-506

表1 RX-506 主要諸元
Table 1 Specifications of the RX-506

主要諸元	単位	基準値	
機械質量	kg	5400	
バケット容量(山積)	m ³	0.21	
全長	mm	5170	
全高	mm	2540	
全幅	mm	2000	
最大掘削高さ	mm	6420	
最大掘削深さ	mm	4065	
最大掘削半径	mm	5730	
最大掘削力	kN	36.5	
走行速度	1速	km/h	2.6
	2速	km/h	4.5

仕様: 標準ブレード + ゴムクロ + キャノピ

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

本機は以下2点をコンセプトとして開発を進めた。

① 省エネ化と作業効率の両立

排出ガス規制対応したダウンサイジングエンジン搭載により燃料消費量を低減するとともに、燃料消費量を低減しながらも従来機同等レベルの作業性を確保するために、クボタオリジナル省エネ機能を開発し、アーム搔き込み、ブーム下げ側に油圧再生回路を導入する。これにより省エネ化と作業効率の両立を図る。

② 外観デザイン刷新とランニングコスト低減

従来機では、フロントホースがフロント作業機の外側を

通る配策となっていた。これは15年前の構造であり、ホースが外に膨らみ、外観も悪く陳腐化したデザインであった。そこで、フロント作業機にホースを内装化することでホースが外に膨らまないようにし、外観デザインの改善を行い、先行発売した3tクラスとの外観の統一化を図る。また、オルタネータとコンプレッサを機体後側に配置することで日常点検部品が後部ボンネットを開けるのみでアクセス可能な配置を実現する。それにより、エンジン回り部品の日常点検、交換を容易にし、ランニングコストの低減を図る。

2-2 開発の目標

① 省エネモード(エコモード)時、JCMAS方式の測定方法において標準動作(掘削・積込+均し+走行+待機)サイクル当たりの燃料消費量を従来機比20%以上低減し、軽負荷作業時の作業効率を従来機同等レベルにすることを目標とした。

※JCMASとは、社団法人日本建設機械施工協会のことである。

② 従来機ではフロント作業機の外側を通していたフロントホースの経路を変更し、フロント作業機にホースを内装化することで外観デザインを向上させることを目標とした。
③ 日常点検部品が後部ボンネットを開けるのみでアクセス可能な配置にすることを目標とした。

3. 解決すべき技術課題

開発のコンセプトを達成するために以下3点を解決すべき技術課題とし、開発を進めた。

① クボタオリジナル省エネ機能

他社ミニバックホーに搭載されている多くの省エネ方式は、単純にエンジン回転数を下げて燃料消費量の低減を行っている

が、同時に油圧ポンプ吐出量も減少するため、作業効率が低下する。このため、ユーザはこの省エネ方式を使用することが少ない。本開発では、燃料消費量を低減しながら作業効率を確保することで使える省エネ方式(エコモード)を実現することが技術課題であった。

② フロント作業機の新規開発

フロントホースの内装化を実現するためには、主たる強度部材であるブーム鋳鋼に穴を開ける必要があり、ブームの剛性低下が容易に予想された。そのため、フロントホースの内装化を実現したフロント作業機の耐久性の確保が技術課題であった。

③ エンジンの整備性向上

多くのミニバックホーのエンジンは機体後側に配置されており、その前側は運転席であるため、日常点検部品を機体前側に配置すると運転席からアクセスすることになり、スペースが狭く、整備に時間がかかる。従来機では、搭載レイアウトの面でオルタネータとコンプレッサが機体前側に配置されていた。図2に従来機(RX-505)のエンジンルームレイアウトを示す。

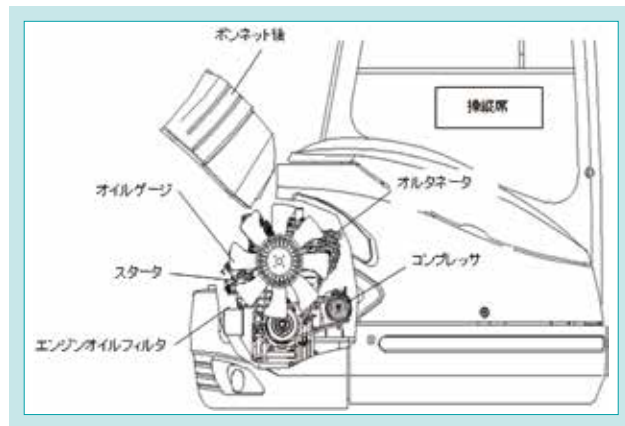


図 2 エンジンルームレイアウト (RX-505)
Fig. 2 Engine Room Layout (RX-505)

4. 差別化技術

4-1 省エネ化と作業効率の両立

4.1.1 クボタオリジナル省エネ機能の開発

建設機械における燃費の定義を説明する。JCMAS方式の測定方法で測定し、模擬動作によって試験を行い、標準動作サイクル当たりの燃料消費量で評価を行う。

$$F_1 = \frac{q}{c}$$

F₁: 標準動作サイクル当たりの燃料消費量(g/cycle)

q: 燃料消費量(g)

c: 標準動作サイクル(cycle)

このことより、標準動作サイクル当たりの燃料消費量を低減させるためには、①燃料消費量の低減 ②作業効率の向上の両方を行う必要がある。

4.1.1.2 燃料消費量の低減

RX-506に搭載したエンジンは、2014年基準の特定特殊自動車排出ガス規制をクリアしている。燃料消費量を低減するためにエンジン排気量を2 Lから1.8 Lにサイズダウンし、ターボを採用することでエンジン出力を従来機と同等以上とした。

また、エコモード時のエンジン最高回転数を1800 rpmに制限する制御を搭載した。従来機とRX-506の搭載エンジンの比較を表2に示す。

表 2 搭載エンジンの比較

Table 2 Comparison of the Equipped Engine

		RX-505	RX-506
エンジン	排気量(L)	2.197	1.826
	出力(kW)	28.8	30.1
	燃焼方式	4気筒渦流方式	3気筒直噴ターボ
	回転数(rpm)	2250 (標準モード)	1800 (エコモード)

4.1.1.3 作業効率の向上

ミニバックホーの作業は主に走行、掘削、吊上げ等の重負荷作業と土の掻き寄せ、土表面を仕上げる均し作業(図3)等の軽負荷作業が存在する。重負荷作業はエンジンに対する負荷が大きいのに対し、軽負荷作業時はエンジンに対する負荷は小さいが、スピードが求められる。このことに着目して省エネ化と作業効率の両立を図った。

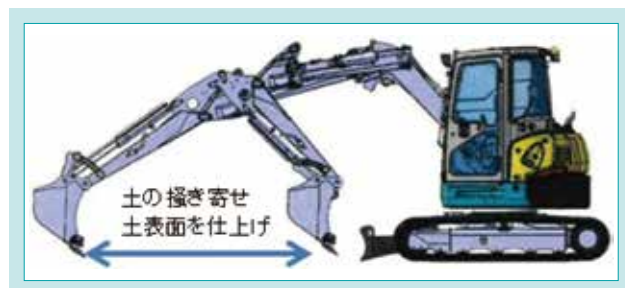


図 3 均し作業
Fig. 3 Leveling Work

RX-506に搭載している油圧システムは、ロードセンシング油圧システムであり、エンジン回転数低下に応じて油圧ポンプ吐出量を低下させる制御(ゲイン制御)を行っている。このため、エンジン回転数が低下すると燃料消費量は低減するが、油圧ポンプの吐出量も低下するため作業効率も低下する。そこで、エンジン回転数低下によって低下した分の油量 Q_1 を低下前の油量 Q_2 に復帰させる(可変ゲイン制御)ことで低回転時の作業効率を向上させた。以下で可変ゲイン制御の仕組みを説明する。図4にエンジン回転数と油量の関係を示す。

従来機では、油圧ポンプの吐出圧の信号である P_{PS} と P_{LS} の圧力差(LS差圧)とLSレギュレータ内のスプリング力 F_{SPL} とエンジン回転数の変化によって生じる差圧であるゲイン差圧 ΔG の和(LS設定圧)がエンジン回転数に応じて一定の値になるように制御している(ゲイン制御)。従来の油圧回路を図5に示す。

$$P_{PS} - P_{LS} = F_{SPL} + \Delta G = \text{一定}$$

(LS差圧) (LS設定圧)

RX-506に搭載している油圧回路を図6に示す。標準モードのときは、LS設定圧を低下する方向に P_{LS} 圧を制御し、LSレギュレータに導入している。この圧力が従来機におけるエンジン回転数2200 rpmのときと同様に設定されている。

一方、エコモードのときはエコモードスイッチをONにすると本機ECUによりエンジン回転数が1800 rpmに制限され、可変ゲインソレノイドバルブにより P_{LS} 圧をタンクに戻すことで、LS設定圧が上昇する。この P_{LS} 圧は、エンジン回転数の制限に応じて低下したゲイン差圧に相当する。可変ゲインソレノイドバルブにより、 P_{LS} 圧をLSレギュレータに導入する場合、タンクに戻す場合の2段階の切替えを行っている。このように2段階にゲイン差圧の切替えが可能なのが可変ゲイン制御である。この制御により、エンジン回転数を低下させるエコモードでも油圧ポンプ吐出量の低下が抑制され、作業機単独速度低下を抑制する。

$$P_{PS} - P_{LS} = F_{SPL} + \Delta G_{2200} \dots\dots\dots \text{従来機}$$

$$= F_{SPL}' + \Delta G_{2200} - P_{LS} \dots\dots\dots \text{標準モード}$$

$$= F_{SPL}' + \Delta G_{1800} \dots\dots\dots \text{エコモード}$$

本開発では、アーム揺き込み、ブーム下げ側に油圧再生回路を採用した。油圧再生回路とは、シリンダの戻り油の一部を送り側に合流させることである。これにより、負荷が小さい時には、少ない油量でスピードアップすることが可能なので均し作業において有効である。クボタオリジナル省エネ機能と油圧再生回路を導入し、作業効率の評価を行った。作業効率を模擬掘削動作と均し動作サイクル当たりの所要時間で評価を行った。従来機を基準として評価を行った結果を表3に示す。

この結果よりエコモードは、エンジン回転数1800 rpmの標準モードよりも作業効率が優れており、軽負荷作業時の作業効率は、従来機同等以上を確保することができた。

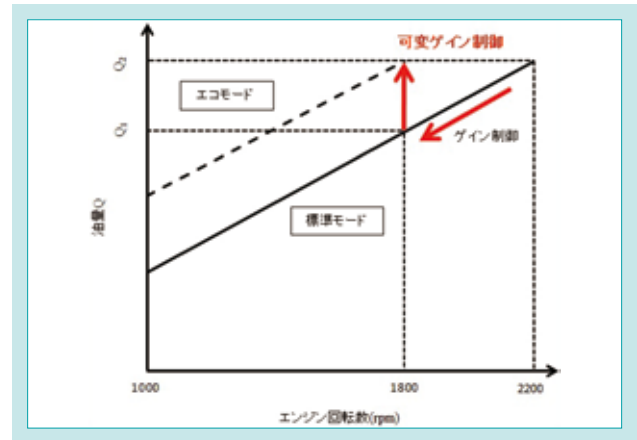


図4 エンジン回転数と油量の関係
Fig. 4 Relation Engine Speed and Oil Flow

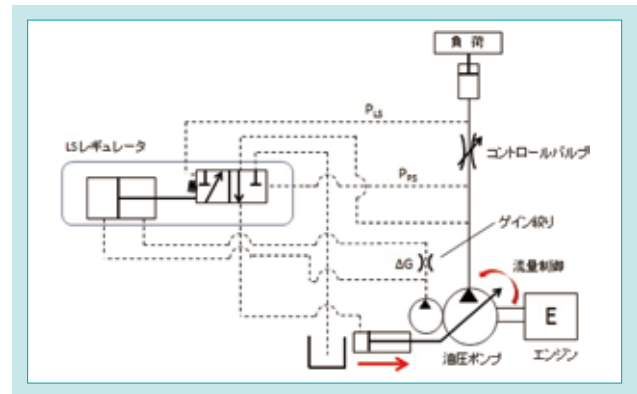


図5 従来の油圧回路
Fig. 5 Hydraulic Circuit of the Current Model

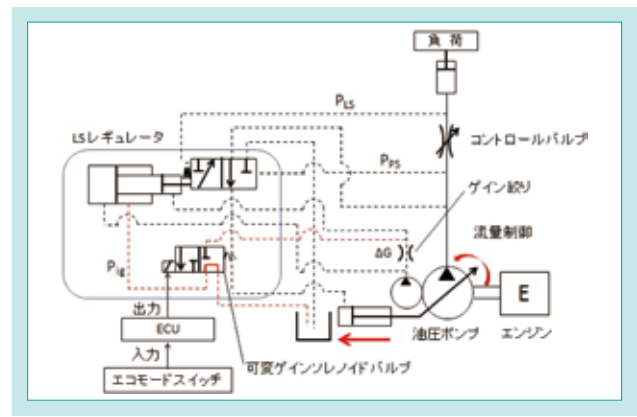


図6 RX-506の油圧回路
Fig. 6 Hydraulic Circuit of RX-506

表3 作業効率の結果
Table 3 Results of the Work Time

	RX-506		RX-505
	標準モード	エコモード	標準モード
エンジン回転数(rpm)	1800	1800	2250
掘削	109%	106%	100%
均し作業	100%	97%	100%

ダウンサイジングエンジン、クボタオリジナル省エネ機能、油圧再生回路を搭載し、標準動作サイクル当たりの燃料消費量を測定した。従来機を基準として、省エネ機能及び排出ガス規制対応エンジンを搭載したRX-506と他社機の標準動作サイクル当たりの燃料消費量を比較した結果を図7に示す。

この結果より標準動作サイクル当たりの燃料消費量の低減効果は、エコモードで従来機比25%減、競合他社と比較しても同じく25%減である。目標であった標準動作サイクル当たりの燃料消費量は従来機比20%以上を達成した。

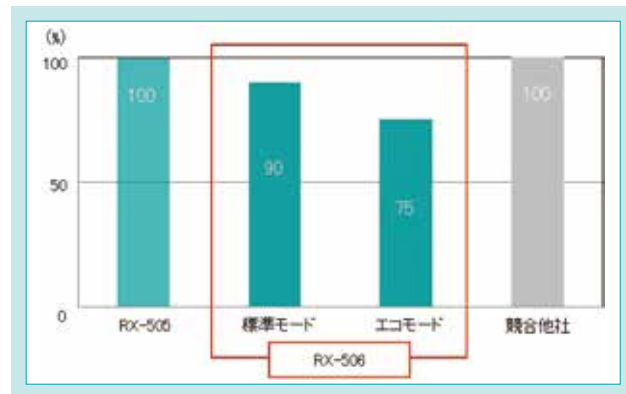


図7 標準動作サイクル当たりの燃料消費量の結果
Fig. 7 Effect of Fuel Consumption Per Standard Work Cycle

4-2 外観デザイン刷新とランニングコスト低減

4.2.1 フロント作業機の新規開発

従来機では、フロントホースが外側を通る配策となっていた。更にホースが外に膨らむことによる破損のリスクを軽減することと、外観デザイン上からも先行した3tクラスと同様に内装化して欲しいと言う市場要望があった。図8に従来機のフロントホース経路を示す。

RX-506はブーム1、2、3の強度を落とすことなく、構造変更し内部にフロントホースを配策する経路を設けた。これにより、外観デザイン刷新とともに、先行してホース内装化している3tクラス超小旋回機と外観を統一し、シリーズ化を行った。図9にフロント作業機の構造を示し、図10に従来機とRX-506のフロントホース配策の比較を示す。

内装化を実現するために主たる強度部材であるブーム1 鋳鋼部にホースの通り道を設けるため、断面係数が10%低下し、強度低下が懸念されたが、設計段階で解析を用いて強度の見込み付けと以下の試験を実施し品質を確保した。図11に従来機とRX-506のブーム1の構造を示す。

- ① 各掘削モードで応力試験を実施
- ② フロント部品に高応力が発生する旋回機当て試験
- ③ フロントホース配策変更によるホースと部品の摩耗の確認(実用耐久試験とブレーカ試験)

以上の3点の確認試験をクリアするために、製品・部品の作り込みを行い、従来機では成立しなかったフロントホースの内装化を実現した。

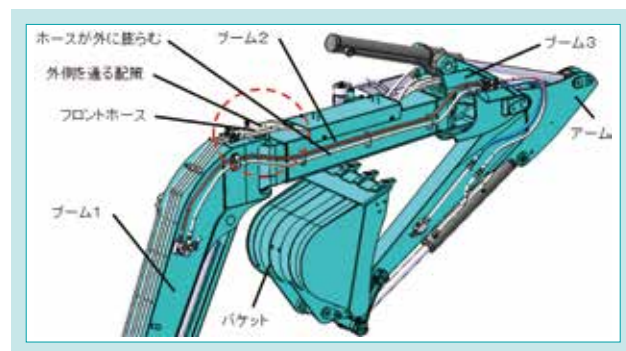


図8 フロントホース経路(RX-505)
Fig. 8 Front Hose Route(RX-505)

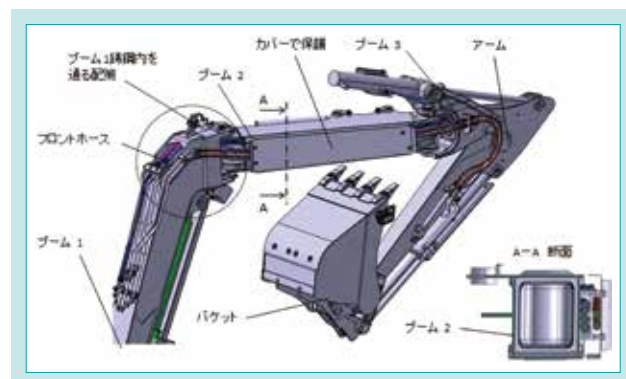


図9 フロント作業機の構造(RX-506)
Fig. 9 Front Hose Route(RX-506)

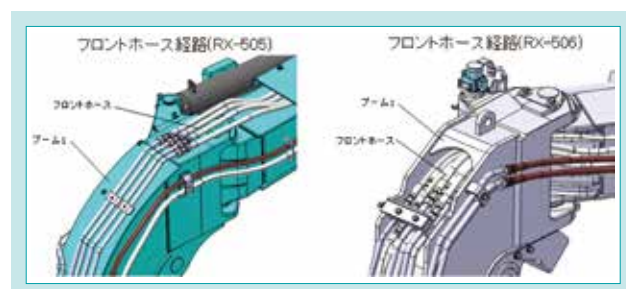


図10 RX-505とRX-506のフロントホース経路の比較
Fig. 10 Comparison of Hose Route RX-505 and RX-506

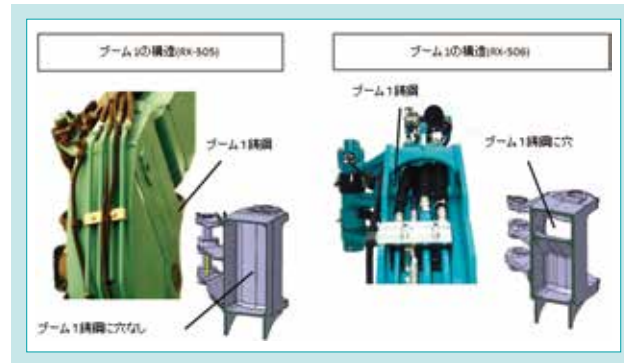


図 11 RX-505 と RX-506 のブーム 1 の構造の比較

Fig. 11 Comparison of the Structure of Boom1 RX-505 and RX-506

4.2.2 エンジン部品の整備性向上

従来機のエンジン部品の整備は、作業者が後部ボンネットからアクセスするときに、オルタネータとコンプレッサに直接届かない配置であり、点検、交換が困難であった。本開発では、狭いエンジンルーム内でレイアウトを工夫し、オルタネータとコンプレッサを機体後側に配置することで、ワンサイドメンテナンス構造(日常点検が必要な部品に対し、後部ボンネットを開けた側からアクセスでき点検を可能とすること)を実現し、整備性を向上させた。これにより、整備にかかる時間を12分短縮することができ、ランニングコストを低減することができた。図12にエンジンルームのレイアウトを示す。

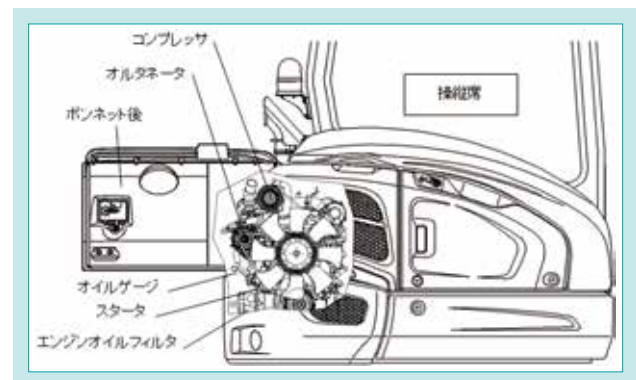


図 12 エンジンルームレイアウト (RX-506)

Fig. 12 Engine Room Layout (RX-506)

5. おわりに

RX-506は、当初の製品コンセプトを実現した。作業効率を確保しながら燃料消費量の低減を両立させたエコモードは、他社のエコモードよりも現場作業で使える技術である。また、フロントホースを内装化することで外観デザインの刷新と先行してフロントホースを内装化している3tクラス超小旋回機と外観の統一化を行った。これにより、クボタ超小旋回機のシリーズ化を達成した。更にワンサイドメンテナンス構造にすることで整備性を向上させ、ランニングコストを低減することができた。

近年、世界的に環境問題が深刻化し、排出ガス規制が厳し

くなっている。排出ガス規制対応をすると一般的に燃費は悪化するが、本開発を通して開発したクボタオリジナル省エネ機能は、排出ガス規制に対応しながら、燃料消費量を低減し、作業効率も確保できている。そのため、機械稼働時にはクリーンな排出ガスを排出し、燃料消費量を低減しながら作業が速く終了できることから環境問題、インフラ整備に対して貢献できる。

今後、クボタオリジナル省エネ機能を更なる効率化、低燃費で高パフォーマンスな機械を開発し、世界の環境問題、インフラ整備に貢献していく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 エコモード時、従来機比で標準動作サイクル当たりの燃料消費量を25%低減

11.a 都市と農村部のつながり支援 国内のインフラ整備に貢献

12.2 天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用 エコモード時、従来機比で標準動作サイクル当たりの燃料消費量を25%低減

参考文献

- ISO7135 Earth-moving machine-Hydraulic excavators-Terminology and commercial specifications (2009)
- 杉本豪利ほか:「北米向けミニバックホー KX040-4の開発」クボタ技報第48号(2014)
- 社団法人日本建設機械化協会標準部: JCMAS H020:2010 土木機械 エネルギー消費量試験方法-油圧シヨベル

溶融技術を用いた放射能汚染廃棄物の減容化における廃塩化ビニルのリサイクル活用

Utilization of Waste Polyvinyl Chloride in the Volume Reduction of Radioactive Waste Using Melting Technology

水環境総合研究所 水環境開発第三部／クボタ環境サービス(株) 焼却リサイクル事業部
クボタ環境サービス(株) FY（双葉溶融）技術部／(株)クボタケミックス 材料技術部

クボタの溶融技術は一般廃棄物などの無害化、資源化技術として活用されてきたが、塩化物薬剤を添加することで放射性セシウム(Cs)の揮散分離が促進されるため、放射能汚染廃棄物の減容化技術としても適用できる。福島原発事故以来、減容化技術としての開発、実証を進め、その結果、双葉町減容化施設の受注に至った。Csの揮散促進剤として塩化カルシウムを用いてきたが、廃塩化ビニルを用いれば有機物による揮散促進効果、燃料削減効果も期待でき、また、塩化ビニルのリサイクルにも貢献できる。そこで、本報では、廃塩化ビニルを揮散促進剤として適用した溶融基礎試験、プラント試験を行った。その結果、Cs揮散促進効果は塩化カルシウムと同程度に高く、廃塩化ビニルが適用可能であることが実証された。

【キーワード】

溶融、放射能汚染廃棄物、減容化、廃塩化ビニル

Kubota's melting technology has been utilized for the recycling of various solid wastes, and it can also be applied as a volume-reduction (Cs separation) technology of radioactive waste by the addition of chloride. Since the Fukushima nuclear accident, we have carried out demonstration test as volume-reduction technology. Calcium chloride has been used as chloride, but if waste polyvinyl chloride (PVC) can be used, other effects can be expected and the recycling of vinyl chloride will be promoted. Therefore, in this report, melting plant test was conducted using waste PVC, and it was demonstrated that the Cs separation effect of waste PVC was as high as that of calcium chloride.

【Key Word】

Melting, Radioactive Waste, Volume Reduction, Waste Polyvinyl Chloride

関連する SDGs



1. はじめに

クボタの溶融技術は、一般廃棄物(都市ごみ)や産業廃棄物の焼却灰、下水汚泥などの固形廃棄物を1,300~1,400℃の高温炉内でマグマ状態に溶かして無害化、資源化(リサイクル)する技術である。1970年代から国内で31施設が導入され、香川県豊島の不法投棄廃棄物処理事業(2003~2017年、処理総量91.1万t)などの環境修復、環境保全、循環型社会実現に資する取組みに活用されてきた。SDGsにおいても、廃棄物に関してはターゲット12.5で「廃棄物の発生防止、再利用の実施」が明記されている他、関連

が深い目標も多いためSDGs達成に直接貢献可能な技術であると考えられる。

溶融技術は、炉内でセシウムなどのアルカリ金属元素を熱化学的に分離できる機能も有しているため、福島第一原発事故の除染に伴い発生した放射能汚染廃棄物の減容化処理にも適用できる。放射能汚染廃棄物に塩化物薬剤を添加して溶融することで、放射性核種であるセシウム(Cs)が低沸点の塩化セシウム(CsCl)となって炉内で揮散(塩化揮発)し、それが排ガスの冷却に

伴い凝縮、析出して溶融飛灰に濃縮し、捕集される(図1)。2011年より基礎試験、プラント試験を重ね、各種固形廃棄物に対して高効率にCsを分離できることを実証した¹⁾。

既研究¹⁾ではCsの揮散促進剤(塩化物薬剤)として汎用性の高い塩化カルシウム(CaCl_2)などの無機薬剤を用いたが、廃塩化ビニル(以下「廃塩ビ」という。)を用いることができれば、Csの揮散促進に加えて、溶融燃料の使用量削減、廃塩ビリサイクルへの貢献といった効果も併せて期待でき、SDGs達成に更に貢献できる。そこで、本報では、放射能汚染廃棄物の溶融処理における廃塩ビの揮散促進剤としてのリサイクル活用を開発目的とし、廃塩ビ

と CaCl_2 の効果を比較評価する基礎試験、プラント試験を行った。

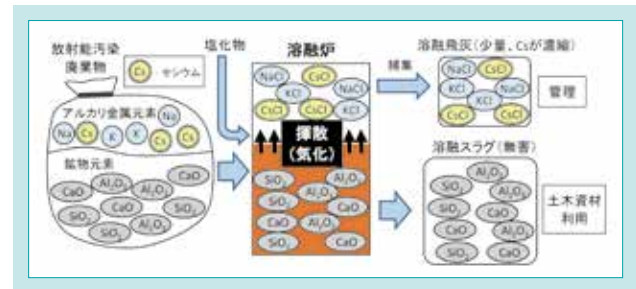


図1 溶融によるCs分離の概念図

Fig.1 Conceptual Diagram of Cs Separation Using the Melting Technique

2. 廃塩ビに期待される効果と開発目標値

2-1 廃塩ビに期待される効果

廃塩ビは塩素系の有機化合物(ポリ塩化ビニル)のリサイクル用途向け再生材であり、塩素と有機物の双方の性質を有している。放射能汚染廃棄物の溶融処理で期待される効果として、下記の5点が挙げられる。

(1)含有塩素によるCsの塩化揮発促進

放射能汚染廃棄物中のCsが廃塩ビの塩素成分と反応して低沸点塩化物となる塩化揮発反応が促進される。

(2)含有有機物の燃焼による更なる塩化揮発促進

廃塩ビが燃焼する際、処理物近傍の酸素分圧が低下し、Csが酸素よりも塩素と結合しやすくなるため、Csの塩化揮発が更に促進される。

(3)溶融燃料の使用量削減

廃塩ビの脱塩素した有機物成分が溶融燃料の代替となり、天然ガス、灯油などの化石燃料使用量が削減される。

(4)放射能汚染廃棄物の固化抑制

CaCl_2 は融雪剤などに利用される吸湿性、潮解性が高い

物質であるため、添加後の搬送ラインで付着、固化による機器の過負荷停止といったトラブルの発生が懸念されるが、廃塩ビを使用すればそのリスクが極少化できる。

(5)廃塩ビリサイクルへの貢献

塩化ビニルは管・継手、電線被覆材、床材・壁紙などの用途で年間170.6万t(2017年度)生産されている²⁾。使用済みの廃塩ビについては、マテリアルリサイクル(材料利用)、ケミカルリサイクル(化学原料利用)、サーマルリサイクル(熱利用)がそれぞれ推進されている²⁾ものの、他材料との複合製品はリサイクルが困難であり、更なる活用が望まれている。図2に、廃塩ビ(粉碎物)の写真例を示す。(B)の床材は強化目的で糸を複合しているため、(C)のクレジットカードは表面に塗料・金属などが付着しているため、(D)のPVDCシートは塩素濃度が高いため、それぞれリサイクルが困難となっている。溶融処理でこれらの廃塩ビを揮散促進剤として活用できれば、廃塩ビのケミカルリサイクル率を向上できると共にSDGs達成への更なる貢献が可能となる。

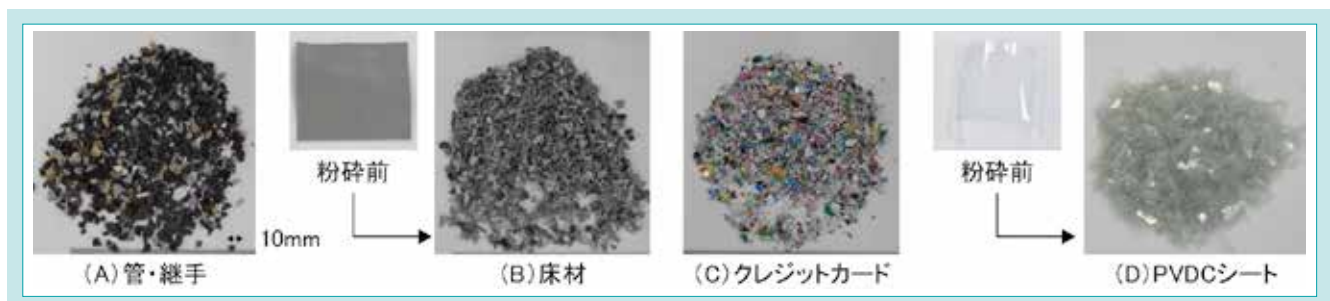


図2 廃塩ビ(粉碎物)の写真例

Fig.2 Picture Examples of Waste PVC (Pulverized Material)

2-2 開発目標値

放射能汚染廃棄物の溶融処理においては、元々廃棄物に含まれるCsの何%を揮散させて溶融飛灰に移行させられるかが肝要であることから、その評価指標となるCs揮散

率(溶融処理で揮散したCsの割合)について、廃塩ビを揮散促進剤として添加したプラント試験において、 CaCl_2 と同程度の95%以上の値が得られることを開発目標とした。

3. 開発成果

3-1 基礎試験

3.1.1 試験方法

放射能汚染廃棄物の模擬物(以下「模擬廃棄物」という。)として、可燃系除染廃棄物を仮設焼却炉で焼却処理した焼却残さを想定し、木質系バイオマス発電施設(流動床式)の焼却灰に非放射性Cs₂CO₃試薬を0.5%添加したものをを用いた。表1に組成を示すが、Cs揮散率への影響が大きい塩基度(CaO/SiO₂重量比)は0.29、Cl濃度は0.67%であり、処理実績の多い都市ごみ焼却炉の焼却灰と比較すると、共に低い値であった。廃塩ビには、上水道管の市中リサイクル品を2 mm未満に粉砕したものをを用いた。表2に組成を示すが、無機灰分は1.3%であり、有機物は概ね塩化ビニルの化学式に準じた組成であった。

表3に、試験条件を示す。CaCl₂または廃塩ビを同一のCl濃度(7%)となるように添加し、それぞれCa(OH)₂添加により塩基度を11水準に変化させた全22条件とした。

試料手順は、下記の通りとした。

- ① 試料を舟形の磁製ポットに充填する(図3)。
- ② 1,350℃に予め調整した電気マuffle炉(図4)に試料を挿入し、15分間加熱する。
- ③ 試料を炉から取出し、空気中で自然冷却する。
- ④ 加熱前後の重量及びCs濃度から、Cs揮散率を算出し、比較評価する。

3.1.2 試験結果

図5に、廃塩ビ添加、CaCl₂添加の各条件における塩基度とCs揮散率との関係を示す。廃塩ビ添加条件でのCs揮散率は塩基度によらずCaCl₂添加条件と同程度以上に高い値であり、廃塩ビがCaCl₂と同程度のCs揮散促進効果を有することが示された。塩基度0.74以上の条件においてCs揮散率が95%以上となり開発目標値を達成した。

塩化物の種類によらず、塩基度が高い条件ほどCs揮散率は高かったが、塩基度1.5~2の領域においてCs揮散率が若干低下する結果が得られた。塩基度が高いほどCs揮散率が高いことについては、塩基度が高いスラグほどイオン結合性のCaOが増えてSi-O共有結合が弱くなり(Si-O結合距離が長くなり)、その結果スラグ構造が脆弱化してCs捕捉力が弱まったためと考えられる。

塩基度1.5~2の領域でCs揮散率が若干低下したことについては、図5に示したスラグA~EについてX線回折分析を行い、結晶構造を調査した。表4に分析結果を示す。スラグは通常、急速冷却するため非結晶のガラスとなるが、塩基度1.5以上でスラグの結晶化が起こっており、Cs揮散率が最も低下したスラグCではCsと同型置換しやすいKを

表1 模擬廃棄物の組成

Table 1 Composition of Simulated Waste

項目	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Na	K	Cs	Cl	S	塩基度
単位	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	-
分析値	48.0	13.8	14.9	5.7	2.5	3.8	0.46	0.67	0.44	0.29

表2 廃塩ビの組成

Table 2 Composition of Waste PVC

項目	無機物		有機物				
	灰分	C	H	N	O	S	Cl
単位	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)
分析値	1.3	38.7	4.6	<0.01	7.1	0.02	48.3

表3 基礎試験条件

Table 3 Conditions of Basic Test

No.	区分	試料の混合重量割合				混合後の試料性状	
		廃棄物 %	Ca(OH) ₂ %	廃塩ビ %	CaCl ₂ %	塩基度 -	Cl濃度 % (dry)
1	廃塩ビ添加 [11条件]	88→38 [5%刻み]	0→50 [5%刻み]	12	-	0.3→2.2	7
2	CaCl ₂ 添加 [11条件]	90→40 [5%刻み]	0→50 [5%刻み]	-	10	0.4→2.4	7

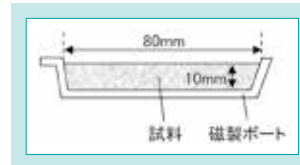


図3 試料の充填状態



図4 電気マuffle炉の写真

Fig. 3 Filled State of the Sample Fig. 4 Picture of an Electric Furnace

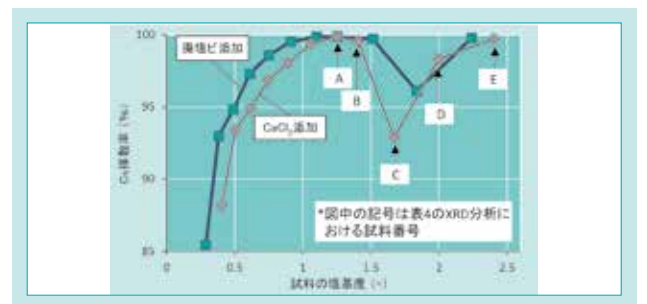


図5 試料の塩基度とCs揮散率との関係

Fig. 5 Relationship Between the Basicity of the Sample and Cs Vaporization Ratio

表4 スラグA~E [CaCl₂添加条件] のX線回折分析結果

Table 4 XRD Analysis Results of Slag A to E [CaCl₂-added Condition]

項目	A	B	C	D	E
	塩基度 1.2	塩基度 1.4	塩基度 1.7	塩基度 2.0	塩基度 2.4
結晶化度(結晶化した割合)	非晶質	60%	90%	95%	95%
同定結晶相	Ca ₂ (Al _{0.65} Mg _{0.35})(Al _{0.55} Si _{1.35})O ₇	-	◎	-	-
	Ca ₂ SiO ₄	-	○	○	◎
	Ca ₂ (Al _{0.92} Mg _{0.08})(Al _{0.92} Si _{1.08})O ₇	-	-	◎	○
	KCl	-	-	△	-
	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃ Cl ₂	-	-	-	◎
	Ca ₁₄ Mg ₂ Si ₆ O ₃₂ ・Ca ₇ Al ₂ SiO ₇	-	-	-	○
Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃	-	-	-	-	○

◎: 存在あり(特に多い), ○: 存在あり, △: 微量, -: 同定されず

含むKCl結晶が微量ではあるが同定されたことから、Csの一部が結晶に取り込まれたことによりCs揮散率が低下し

たとえられる。

3-2 プラント実証試験

3.2.1 試験条件

試験は回転式表面溶融テストプラント(3 t/日、炉内径1.8 m)を用いて実施した。プラント全体のフローを図6に、回転式表面溶融炉の構造を図7に示す。溶融炉は外筒と内筒の二重円筒構造で、投入物はその間の供給筒部分に投入される。外筒が水平方向に0.5~1 rphで緩速回転し、それに伴い、投入物が全円周方向から主燃焼室に供給され、溶けてスラグとなる。スラグは炉中心方向に流下し、スラグピット水中に落下して急速冷却され、排出される。炉内で揮散したCsは燃焼排ガスの一部となり、排ガス処理設備へ導入され、ガス冷却塔で水噴霧により200℃以下に冷却され、凝縮固化して溶融飛灰となり、バグフィルタ(以下「BF」という。)で捕集、排出される。BFは二段としており、No.1 BFではろ布保護剤の炭酸カルシウム(CaCO₃)を少量吹込んで溶融飛灰のみを捕集し、No.2 BFでアルカリ剤の消石灰

(Ca(OH)₂)を吹込んで酸性ガスを中和し中和物を捕集している。この二段BFの適用は、Cs濃縮物であるNo.1 BF灰の減量化及びNo.2 BF灰の揮散促進剤としての循環再利用を実証することを目的としている。

模擬廃棄物には、基礎試験とは別施設のバイオマス発電(流動床式)焼却灰にAl₂O₃ 15%、Fe₂O₃ 5%を加えて組成調整したものをを用いた。表5に組成を示すが、基礎試験の模擬廃棄物と比べると塩基度は0.07、Cl濃度は0.09%で低かった。廃塩ビには、管・継手の工場残さを10 mm未満に粉砕したものをを用いた。表6に組成を示すが、無機物の灰分は充填剤のCaCO₃由来で19.8%と高く、有機物は概ね塩化ビニルの化学式に準じた組成であった。Csは投入物に対して0.2%となるように非放射性Cs₂CO₃試薬を溶液添加した。

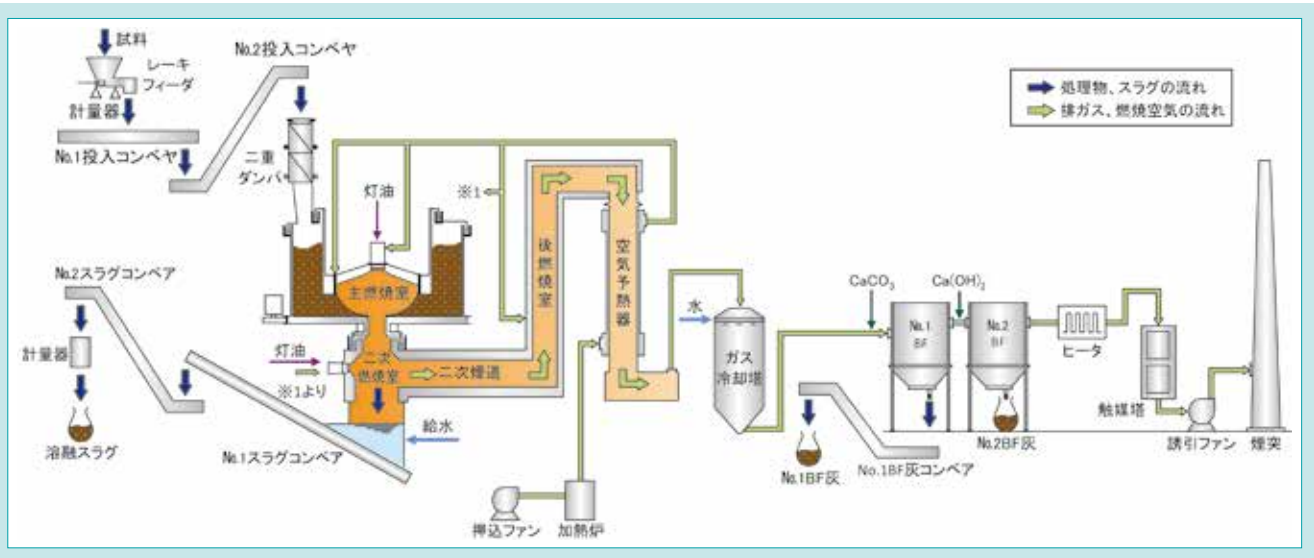


図6 溶融テストプラントのフロー
Fig. 6 Flow of the Melting Test Plant

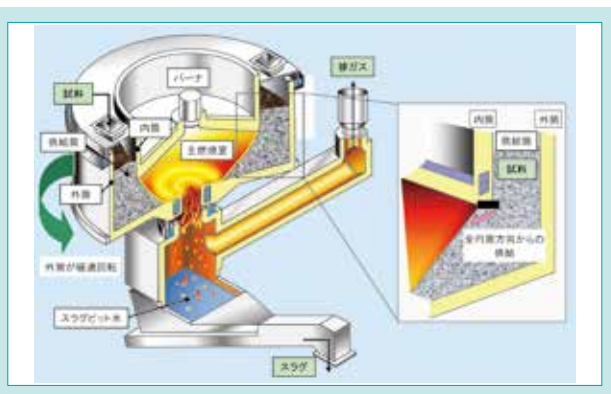


図7 クボタ溶融炉の構造
Fig. 7 Structure of a Kubota Melting Furnace

表5 模擬廃棄物の組成
Table 5 Composition of Simulated Waste

項目	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Na	K	Zn	Pb	Cl	S	塩基度
単位	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	-
分析値	66.0	4.6	16.8	6.1	0.4	2.2	0.016	0.003	0.09	0.21	0.07

表6 廃塩ビの組成
Table 6 Composition of Waste PVC

項目	無機物		有機物					
	灰分	CaCO ₃	C	H	N	O	S	Cl
単位	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)	% (dry)
分析値	19.8	16.1	34.2	3.2	<0.01	9.0	0.08	33.8

表7に、試験条件を示す。模擬廃棄物に廃塩ビとCa(OH)₂試薬もしくはCaCl₂試薬とCa(OH)₂試薬の混合添加により、塩基度を0.7、Cl濃度を7%程度に調整した2条件とした。投入物混合方法としては、まず、パン型混練機でバイオマス発電焼却灰、Al₂O₃、Fe₂O₃を混合した後にCs₂CO₃溶液を噴霧添加して模擬廃棄物を作製し、次にニーダ式混練機で模擬廃棄物、廃塩ビもしくはCaCl₂・2H₂O、Ca(OH)₂を混合して作製した。

3.2.2 試験結果

表8に運転データの概要、図8に廃塩ビ添加条件での各部排ガスの温度トレンドをそれぞれ示す。廃塩ビ添加条件では約9時間の定常運転を行ったが、熔融運転状況は安定していた。処理物の融点が低く、スラグの溶流动性が高かったため、主燃焼室温度は1,250℃前後とやや低い値であった。Csが濃縮されるNo.1 BF 灰の発生量は13.2 kg/hとなり、投入物量に対して約9%、模擬廃棄物量に対して約17%に減量できることが示された。また、CaCl₂添加条件では薬剤混合後に長期間養生した試料について一部固化が見られた(図9)が、廃塩ビ添加条件ではそれが見られず、投入物の固化抑制効果も確認された。

図10に熔融炉での各元素の揮散率を、表9に廃塩ビ添加条件における投入物、生成物(スラグ、No.1 BF 灰)の組成を示す。廃塩ビ添加条件においても各元素の揮散挙動はCaCl₂添加条件と同様であり、鉍物元素については揮散率が低くほぼ全量がスラグに移行しているのに対し、アルカリ金属、重金属については顕著に揮散し、No.1 BF 灰中の濃度が投入物に対して高い結果となった。Cs揮散率は97.4%と開発目標値の95%を越える値となり、CaCl₂添加条件と同程度であったことから、廃塩ビがCaCl₂と同等のCs揮散促進効果を有することがプラント試験において実証された。

表7 プラント試験条件

Table 7 Conditions of Plant Test

No.	区分	試料の混合重量割合					混合後の試料性状	
		模擬廃棄物 %	Cs		薬剤		塩基度 -	Cl濃度 % (dry)
			Cs ₂ CO ₃ %	Ca(OH) ₂ %	廃塩ビ %	CaCl ₂ %		
1	廃塩ビ添加	52.1	0.2	30.0	17.7	0	0.7	7
				47.7				
2	CaCl ₂ 添加	59.8	0.2	25.0	0	15.0	0.7	7
				40.0				

表8 運転データの概要

Table 8 Outline of Operation Data

項目	単位	廃塩ビ添加		CaCl ₂ 添加		
		最小 ~ 最大	平均	最小 ~ 最大	平均	
温度	主燃焼室	°C	1,235~1,274	1,260	1,183~1,253	1,223
	AH出口	°C	596~665	629	530~620	584
	No.1BF入口	°C	188~215	196	171~186	176
	No.2BF出口	°C	137~145	141	140~146	145
ガス濃度	二次室 O ₂	%	3.3~5.4	4.5	2.1~8.3	5.3
	二次室 CO	%	0.0~0.0	0.0	0.0~0.0	0.0
	二次室 CO ₂	%	11.8~13.3	12.4	9.8~13.8	11.8
固形物量	投入物	kg/h(dry)	148.2		188.9	
	スラグ	kg/h(dry)	118.9		165.2	
	No.1BF灰	kg/h(dry)	13.2		17.3	

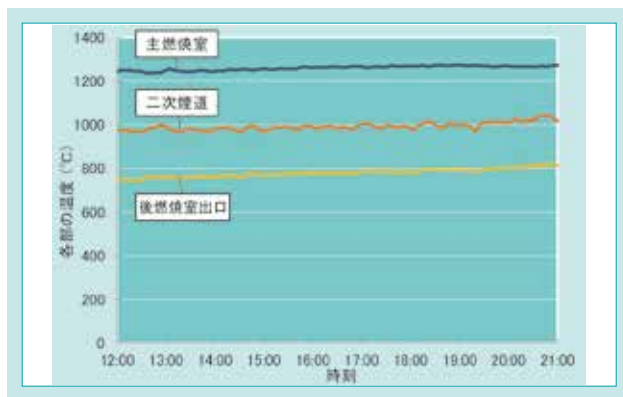


図8 排ガスの温度トレンド [廃塩ビ添加条件]

Fig. 8 Temperature Trend of Flue Gas [Waste PVC-added Condition]



図9 固化した投入物の写真 [CaCl₂添加条件]

Fig. 9 Picture of Solidified Feed [CaCl₂-added Condition]



図10 熔融炉での各元素の揮散率

Fig. 10 Volatilization Ratio of Each Element in the Melting Furnace

表10に、廃塩ビ添加条件におけるNo.1 BF 入口、No.2 BF 出口での排ガス性状を示す。本システムでは、廃塩ビを積極的に添加してCsを塩化揮発させるため、廃塩ビの熱分解により比較的高濃度の塩化水素(HCl)ガスが発生する。そのため、No.1 BF 入口でのHCl濃度(O₂ 12%換算値)は1,860 ppmと高かった。No.2 BF 入口で消石灰を噴霧してHClの中和除去を行っているため、No.2 BF 出口でのHCl濃度は26 ppmに低下した。

廃塩ビの添加によるダイオキシン類(以下「DXNs」という。)の生成が懸念されたことから、触媒塔出口排ガス及び生成物のDXNs濃度を測定した。図11に、結果を示す。本試験では、BFでの活性炭噴霧によるDXNs吸着除去は行わなかったが、触媒塔出口排ガスのDXNs濃度は0.033 ng-TEQ/Nm³、BF灰のDXNs濃度は0.066 ng-TEQ/g、0.033 ng-TEQ/gであり、それぞれ廃棄物焼却炉の排ガス基準値0.1 ng-TEQ/Nm³(新設、4 t/h以上)、ばいじん基準値3 ng-TEQ/gを十分下回る値であった。廃塩ビを添加しても、従来の都市ごみ焼却灰溶融と同様に、排ガスの急速冷却による再合成抑制、BFでの活性炭噴霧による吸着除去、触媒塔による酸化分解といった対策を講

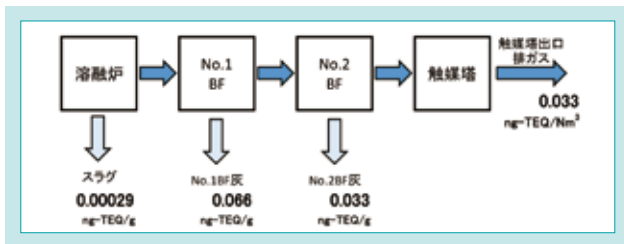


図 11 排ガス、生成物の DXNs 濃度

Fig. 11 DXNs Concentration of Flue Gas and Products [Waste PVC-added Condition]

じることにより、対応可能であると考えられる。

表 9 投入物、生成物の組成 [廃塩ビ添加条件]
Table 9 Composition of Feed and Product [Waste PVC-added Condition]

項目	単位	廃塩ビ添加		
		投入物	スラグ	No.1BF灰
Si	% (dry)	19.6	22.9	<0.1
Ca	% (dry)	18.7	21.1	23.9*
Na	% (dry)	0.54	0.26	5.6
K	% (dry)	0.83	0.19	6.6
Cs	% (dry)	0.18	0.0060	2.1
Zn	mg/kg (dry)	63	40	1,100
Pb	mg/kg (dry)	1,000	23	7,800
Cl	% (dry)	6.0	3.4	12.3
S	% (dry)	0.12	0.03	0.41

*No.1BF灰のCaについては、No.1BF入口でろ布保護剤としてCaCO₃を噴霧しているため、高い値となっている

表 10 排ガスの性状 [廃塩ビ添加条件]
Table 10 Properties of the Flue Gas [Waste PVC-added Condition]

項目	単位	廃塩ビ添加	
		No.1BF入口	No.2BF出口
排ガス量(湿)	Nm ³ /h	1,300	2,400
排ガス温度	°C	201	142
ばいじん	O ₂ 12%	3.2	<0.002
SO _x	O ₂ 12%	3	2
NO _x	O ₂ 12%	21	19
HCl	O ₂ 12%	1,860	26

4. おわりに

放射能汚染廃棄物の溶融処理における廃塩ビのCs揮散促進剤活用を目的として、廃塩ビとCaCl₂の効果と比較評価する基礎試験、プラント試験を行った。その結果、廃塩ビ添加時のCs揮散率はCaCl₂添加時と同程度に高く、廃塩ビがCaCl₂と同等の効果を有することが実証された。

クボタグループは、福島第一原発事故が発生した2011年から減容化技術としての溶融技術開発、実証試験を継続的に進めてきた。その結果、2018年3月、「双葉町減容化施設(中間貯

蔵施設)における廃棄物処理その1業務」の受注に至った。本業務の遂行自体が福島の復興、SDGsの達成に大きく貢献できるものであり、更に、廃塩ビを活用できれば、リサイクル推進による更なるSDGs達成への貢献が可能となる。現在、クボタ環境サービス(株)において設計・製作中であるが、円滑に業務が遂行できるよう、グループ一丸となり、英知を集結して進めていく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 廃プラスチックの利用により溶融燃料原単位を約30%削減

11.6 廃棄物管理の強化等を通じた都市における環境の改善 香川県豊島の不法投棄廃棄物処理で91.1万tを浄化

12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 国内31施設で廃棄物、下水汚泥の資源化に貢献

参考文献

- 例えば 釜田他:「溶融技術による土壌等からのセシウム熱分離に関するプラント実証試験評価」環境放射能除染学会誌、Vol. 3 - No. 2、(2015)、pp. 49-64
- 塩ビ工業・環境協会HP <http://www.vec.gr.jp/index.html>、(参照日 2018-09-27)

大型コンパクト浄化槽 KRZ の開発

Development of the Compact Johkasou KRZ Type for Large Scale Facilities

滋賀工場 技術グループ

浄化槽は、下水道区域外を中心に整備が進められており、マンション、病院、工場、公共施設等の大規模な建築物から排出される生活排水は、主にFRP(繊維強化プラスチック)製の大型浄化槽(51人槽以上)で浄化処理される。大型浄化槽は、日本国内で約1,500件/年の需要があり、既にベトナム、ミャンマー等の東南アジアでも事業展開を行っている。顧客が浄化槽に要求する大きな要素の一つにコンパクト性がある。本稿では、従来機と同等の処理性能を維持した上で、クボタ独自技術を盛り込み、流量調整槽を有する中・大規模浄化槽で業界最小を実現した、クボタ浄化槽KRZ型の開発について報告する。

【キーワード】

浄化槽、コンパクト、省エネ、更新、東南アジア

The installation of Johkasou has spread mainly outside sewer areas, and domestic wastewater from large-scale buildings such as condominiums, hospitals, factories and public facilities is mainly purified by FRP large-scale Johkasou (For 51 people or more). Demand for large-scale Johkasou totals about 1,500 cases / year in Japan, and it is also developing in Southeast Asian countries such as Vietnam, Myanmar etc. One of the biggest demands of customers is compactness. In this paper, we will report on the development of the Kubota Johkasou KRZ type, which achieved the industry's smallest model in medium- and large-scale Johkasou with equalization tanks, incorporating KUBOTA's proprietary technology, maintaining the same performance as conventional models.

【Key Word】

Johkasou, Downsizing, Energy Saving, Renewal, Southeast Asia

関連する SDGs



1. はじめに

クボタはこれまで、コンパクト浄化槽「Zシリーズ」として、小型浄化槽KZ型(5~10人槽)、中型浄化槽HCZ型(12~50人槽)、大型浄化槽KTZ型(51~2,380人槽¹⁾)を開発、順次上市してきた。本稿で紹介するKRZ型は、KTZ型より人槽を拡大し51~10,000人槽まで対応できるようにした、流量調整槽を有する中・大規模域で業界最小の大型浄化槽である。

各国が各分野で温室効果ガス削減に取り組む中、日本では環境省が「省エネ型中・大型浄化槽システム導入推進事業」に関わる補助金制度を設定し、既設の旧構造基準型の大型浄化槽から、省エネ効果が高い新型浄化槽への入替を推進している。一方、既設浄化槽の更新は流入する汚水の処理を継続しながら行うため、新設する浄化槽のために新たな設置ス

ペースを確保する必要がある。KRZ型は、コンパクトかつ既設のRC(鉄筋コンクリート製)水槽を活用できるハイブリッド仕様(後述)が可能のため「狭小地設置」で既存設備を有効活用しての更新を可能にするとともに、新設でも工事費の低減に貢献できる。

海外では、アジア汚水管理パートナーシップ(AWaP)参加国等、汚水処理整備の遅れている国でもKRZ型は貢献できる。ベトナムでは、病院生活排水による二次感染防止の観点から、政府系病院向けに大型浄化槽を販売してきたが、KRZ型適用で施工コストを低減でき、導入促進が期待できる。また、東南アジアでリゾート地等の水質規制強化の動きが活発化しており、このような地域でもKRZ型の活躍が期待される。

2. 技術の説明

2-1 技術の特徴

既に上市しているKTZ型は、二段ろ過(第一ろ過槽、担体ろ過槽)により浮遊物質(SS)の補足・除去性能が高く、かつ、スポンジ担体採用で生物反応槽(担体流動槽)の有機物汚濁負荷を高くできるが、KRZ型にもこれらの技術を採用した(図1)。従来機(K-HC-R)は夾雑物除去目的で機械式の自動スクリーンを採用していたが、KRZ型では夾雑物のみならず懸濁物質も除去できる固液分離槽に変更す

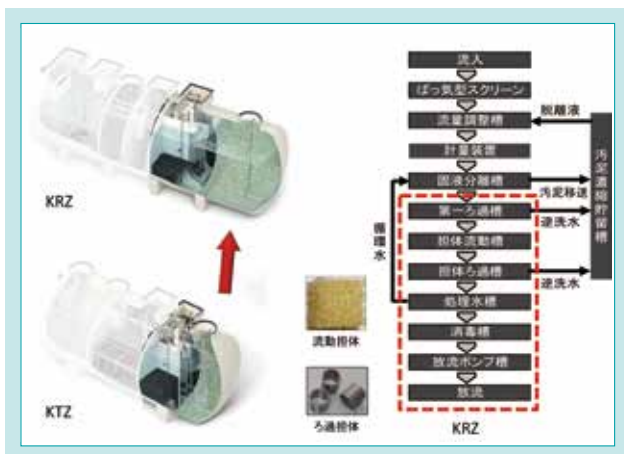


図1 第一ろ過槽以降はKTZ技術を採用

Fig. 1 Adopted KTZ Technology After the 1st Carrier Filter Tank.

2-2 セールスポイント

(1) ハイブリッド仕様

FRP製だけでなく、RC製とFRP製の槽を組合せたクボタ独自のハイブリッド仕様をラインアップした。これは、RC製の深型流量調整槽とFRP槽を組み合わせることを可能にしたもので、大規模施設でも省スペースになる。機器設備が老朽化したRC製の浄化槽を更新する際には、既設RC水槽を流量調整槽として活用できるため、顧客のコスト負担を大幅に軽減できる。

ることで、機器点数削減によるライフサイクルコスト低減と、SS除去性能向上を両立させた(図2)。これら処理プロセス後段の性能向上により、流量調整槽からの瞬時移送水量を増やすことが可能となり、結果として従来機比で、流量調整槽容量を70%、総容量を83%に低減できた(300人槽、60m³/日、12時間排水、BOD:200mg/Lの場合)。

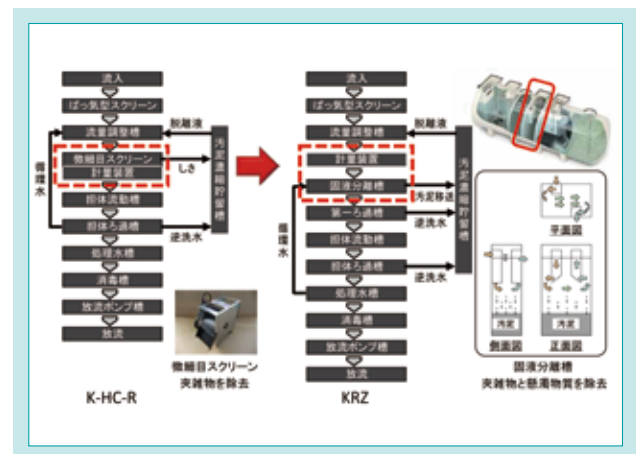


図2 微細目スクリーンから固液分離槽へ

Fig. 2 Change from the Fine Screen to the Sedimentation Separation Tank.

3. おわりに

KRZ型の上市により、既報¹⁾で紹介したKTZ型と併せ、幅広い顧客ニーズに応えられるコンパクト製品のラインアップになった。特にAWaP参加国等の東南アジア諸国への適用拡大には、トータルコスト(製品価格、施工価格)が重要である。製品

のコンパクト性は、施工費低減効果のみならず、輸出に伴う輸送コスト低減の観点からも有効である。関係諸国の未処理排水の実現に向け、貢献していく所存である。

SDGsのターゲットへの貢献

3.3 伝染病の根絶、感染症への対応 ベトナムの病院1,000箇所以上の生活排水の処理施設整備に貢献

6.3 未処理排水の削減、再生利用等による水質の改善 世界14カ国以上で生活排水処理施設整備に貢献

参考文献

1) 藤井幸一, 西川信彦:「大型コンパクト浄化槽KTZ型の開発」クボタ技報、51号、(2018)、pp.108-109

スイフトタッチローダ(北米向けBX80シリーズトラクタ用)の開発

Development of the Swift-Tach Loader for BX80 Series Tractors for North America

トラクタ技術第二部

クボタのBXシリーズトラクタは、北米において、サブコンパクトトラクタという13-19 kW帯のトラクタの市場にてNo.1のシェアを誇っている。本稿では、BXシリーズの新トラクタ向けとして開発した、着脱が容易なクボタ独自の新着脱機構を備えた新フロントローダについて述べる。この市場では、インプレメントの着脱の容易性が大きな訴求点となることから、「トラクタから1度も降車することなく着脱可能なこと」を開発の目標に掲げた。新フロントローダでは、これまで降車を必要としていた「油圧ホースの結合及び分離」「マウント部の固定及び解除」「スタンドの格納及び展開」の作業をいずれも運転席から可能とする機構を確立したことで、この目標を達成した。

【キーワード】

BXシリーズトラクタ、フロントローダ、着脱機構、スイフトタッチ

The KUBOTA BX series tractor has the No. 1 share in North America in the sub-compact tractor market (13-19 kW tractor market). In this paper, we describe the new front loader equipped with KUBOTA original easy-mounting mechanisms, which was developed for new BX series tractors. In this market, because the ease of mounting and dismounting of implements can be an appeal point, we set "Mounting and dismounting without getting off the tractor" as the development goal of the new front loader. The new front loader has achieved this goal by developing new mechanisms.

【Key Word】

BX Series Tractor, Front Loader, Mounting Mechanism, Swift-Tach

関連する SDGs



1. はじめに

クボタは、北米において「サブコンパクトトラクタ」と呼ばれる市場を開拓し、マーケットリーダーとしてNo.1のシェア(当社調べ)を誇っている。サブコンパクトトラクタとは13-19 kW帯のトラクタのことで、サイズが小柄で操作性・汎用性の高いトラクタとして市場に受け入れられている。BXシリーズトラクタは、このサブコンパクトトラクタ市場にクボタが投入したトラクタである(図1)。BXシリーズトラクタは裕福なホームオーナー、とりわけファーストタイムバイヤーが主要な顧客層で、「不慣れなユーザでも使い易く、あれもこれもある可能性を備えたトラクタ」を製品コンセプトとしている。サブコンパクトトラクタに装着される主要なインプレメントには、フ

ントローダ・バックホー・モアがある。大きな敷地を保有するホームオーナーが、土地の整備、資材の運搬、除雪作業、芝刈り等、



図1 BXトラクタ
Fig. 1 BX Tractor

様々な作業に合わせて、これらインプレメントを付け替えて使用する。そのため、インプレメントを容易に着脱できることはBXシリーズトラクタにとって大きな訴求点となる。

競合他社の動向に目を向けると、このサブコンパクトトラクタ市場へはクボタに続き、Massey Ferguson、John Deere、New Holland、Mahindra、Kiotiが参入してきたが、そのシェアの大半をクボタを含む数社で占めている。2011年に競合他社のA社が新シリーズのサブコンパクトトラクタを新たに投入し、着脱の容易さを前面に押し出した広告展開を行い、販売を大きく伸ばしてき

た。クボタもまた、「乗り越えモア」や「スイフトコネクトバックホー」といったモアやバックホーを容易に着脱できる新機構を開発展開し、シェアアップを図ってきた。しかしながら、フロントローダ(以下「ローダ」という。)については、着脱容易性の面でA社の後塵を拝してきた。ローダは、装着率が80%にも迫り、その性能がトラクタの販売にも影響を与える重要インプレメントの一つである。モアとバックホーに加え、お客様の望みを超える、着脱が容易なクボタ独自の新着脱機構を備えたスイフトタッチローダを開発することで、BXシリーズトラクタのシェア奪回を目指した。

2. ローダ着脱機構の比較と開発目標

ローダの着脱ステップは、大きく以下の3つに分けられる(図2)。

- (1)油圧ホースの結合及び分離
- (2)マウント部の固定及び解除
- (3)スタンドの格納及び展開

本章では、これらの各ステップにおける操作手順の違いについてクボタ(旧BXシリーズ用LA243ローダ)とA社(着脱容易化を図った同クラス用のローダ)を比較し、その結果に基づき新着脱機構の開発目標を設定した。



図2 旧BXトラクタ用LA243ローダ
Fig. 2 LA243 Loader for the Old BX Tractor

2-1 クボタとA社の比較

2.1.1 油圧ホースの結合及び分離

図3に示すように、ローダ本体はブームとバケットの2つの主要部品で構成されている。ブームとバケットは、各々に装着された油圧シリンダの伸縮により作動する。この油圧シリンダを動かすためには、各シリンダにつながる4本の油圧ホースをトラクタ側に配置された油圧コントロールシステムにつなぐ必要がある。反対にローダを離脱する際には、これらのホースをコントロールシステムから切り離す必要がある。この操作が、「油圧ホースの結合及び分離」である。

表1に、クボタとA社それぞれの操作手順を示した。油圧ホースは、クボタとA社ともに、一度トラクタを降車してから1本ずつ抜き差しを行う。この際、手や衣服に作動油が付着したり、地面に作動油がこぼれたりすることがある。更にA社については、油圧接続位置がトラクタの下側にあるため、膝をついて作業しなければならない。

このように、油圧ホースの結合及び分離については、A社の方がアクセス性が悪いが、ホースを1本ずつ抜き差しするという点では両者は同等である。



図3 ローダ構成部品
Fig. 3 Component Part of the Loader

表1 油圧ホースの操作手順
Table 1 Operating Procedure of Hydraulic Hoses

	LA243(旧BX)	A社ローダ
構造		
結合手順	①降車する ②1本ずつ差し込む ③乗車する	①降車する ②1本ずつ差し込む ③乗車する
分離手順	①降車する ②1本ずつ引き抜く ③乗車する	①降車する ②1本ずつ引き抜く ③乗車する

2.1.2 マウント部の固定及び解除

ローダをトラクタに固定する部分をマウント部と称する。図4に示すように、クボタのマウント部の固定方式はローダ側のサイドフレームと、トラクタ側のメインフレームの穴位置を合わせ、マウントピンを差し込んで固定する「ピン方式」である。一方A社は、ローダ側のサイドフレームに取付けられたマウントフックを、トラクタ側のメインフレームに引っ掛けて固定する「フック方式」である。

表2に、クボタとA社それぞれの操作手順を示した。クボタの採用しているピン方式は、トラクタの左右外側に位置するマウントピンを抜き差しする必要があることから、ローダの装着時も離脱時もトラクタを降車して左右に回り込む必要がある。これに対してA社の採用しているフック方式では降車することなく操作が可能である。

このように、マウント部の固定及び解除については、A社の方がクボタより操作が容易で、降車も不要である。

2.1.3 スタンドの格納及び展開

スタンドは、ローダをトラクタから離脱させた際に、ローダを立てて保管するために設けられている。ローダ装着時には、スタンドは作業の邪魔になるためブーム内に格納しておき、ローダ離脱時にブームから展開して使用する。

表3に、クボタとA社それぞれの操作手順を示した。クボタはローダの装着時も離脱時も、トラクタを降車して手でスタンドを格納及び展開する必要がある。これに対し、A社はローダの着脱に連動して自動でスタンドの出し入れを行うことができる。

このようにスタンドの格納及び展開についても、A社の方がクボタより操作が容易で、降車も不要である。

2.1.4 クボタとA社の着脱機構比較のまとめ

ここまでの比較から分かるように、クボタではローダ着脱の際に何度もトラクタのエンジンを止め降車する必要がある。着脱作業それぞれにおけるトラクタの降車回数を比較すると、クボタは3回であるのに対し、A社は1回で完了する。このことがクボタローダは着脱に手間がかかると感じさせる原因となっている。

また、油圧ホースの結合及び分離については、クボタとA社で大差はないものの、両者とも1本ずつ抜き差しが必要で時間もかかることから、作業性の面で改善の余地がある。

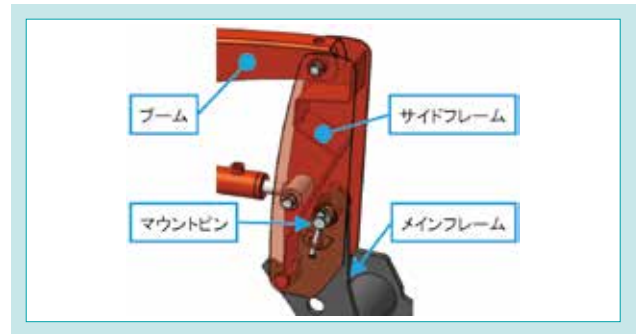


図4 クボタローダのマウント部
Fig. 4 Mounting Part of a KUBOTA Loader

表2 マウント部の操作手順
Table 2 Operating Procedure for the Mounting Part

	LA243(旧BX)	A社ローダ
構造		
固定手順	①ローダを操作して穴位置を合わせる ②降車する ③左右のマウントピンを挿す ④乗車する	①ローダを操作して本機メインフレームに乗せると、左右のマウントフックが自動的に引っ掛かる
解除手順	①ローダを操作して穴位置を合わせる ②降車する ③左右のマウントピンを抜く ④乗車する	①ローダを操作してマウントフックにかかる力を抜く ②左右のマウントフックを持ち上げる

表3 スタンドの操作手順
Table 3 Operating Procedure for the Stand

	LA243(旧BX)	A社ローダ
構造		
格納手順	①降車する ②ペータピンを抜く ③スタンドを持ち上げる ④ペータピンを挿す ⑤乗車する	①ローダを操作して本機メインフレームに乗せると、スタンドが連動して格納される
展開手順	①降車する ②ペータピンを抜く ③スタンドを下ろす ④ペータピンを挿す ⑤乗車する	①ローダを操作して本機メインフレームから外すと、スタンドが連動して展開される

2-2 開発の目標

前節のクボタとA社の着脱機構の比較結果を踏まえ、新ローダの着脱機構の開発目標を「トラクタから1度も降車することなく着脱可能なこと」とした。この目標を達成するため、以下の3つの新機構を開発した。

(1) 油圧クイックカプラ機構：油圧ホースの結合及び分離

を運転席から降りずに可能とする機構

(2) フック方式マウント機構：ローダマウント部の固定及び解除を運転席から降りずに可能とする機構

(3) バケット運動スタンド機構：スタンドの格納及び展開を運転席から降りずに可能とする機構

3. 各機構の開発

3-1 油圧クイックカプラ機構

本機構を開発するにあたって課題は以下の2点である。

- (1) 運転席から離れた油圧接続位置に油圧ホースを着脱できるようにすること
- (2) BXトラクタの狭い設置スペースに合うように小型化すること

これらの課題に対し、新ローダの開発では以下のように解決を図った。

3.1.1 運転席から離れた油圧接続位置への油圧ホース着脱
運転席からの油圧ホース着脱を可能にするため、4本同時油圧クイックカプラ(以下「クイックカプラ」という。)と呼ばれる機構に着目した(図5)。

クイックカプラは、ローダ装着時、オペレータがガイドピンを挿入して操作レバーを手前に倒すだけで、4本の油圧ホースを同時に結合できる。ローダ離脱時には、ロックボタンを押してロックを解除し、操作レバーを持ち上げると分離が完了する。このように、油圧ホースの1本ずつの抜き差しが不要となる。この機構の操作レバーとロックボタンを運転席から操作可能な位置に配置することで、本課題の解決とともに、作業性の改善も図れると考えた。

3.1.2 油圧クイックカプラの小型化

クイックカプラは、これまでもクボタのL、MTトラクタ用ローダに採用してきた。しかし、BXトラクタに採用するにあたり、そのサイズが課題となった。既存のクイックカプラはいずれも大きく、BXトラクタには装着できなかった。そのため、BXトラクタ専用のクイックカプラを油圧部品メーカーのParker社と共同で新規開発した。

BXトラクタ用に開発した新クイックカプラを図6に示す。本クイックカプラは、4つの油圧カプラを一直線に並べた構造とした。また、通常はクイックカプラの左右に設ける固定フックを片側のみとした。これらの変更により、従来のクイックカプラに比べ半分以下のサイズに省スペース化を実現し、BXトラクタの幅の狭いスペースに設置可能とした。

この際、固定フックを片側のみとしたことで、ローダ作業時(圧力負荷時)にフックによる固定がない側が開いて油が



図5 L、Mローダ用クイックカプラ
Fig. 5 Hydraulic Quick Coupler for L, M Loader

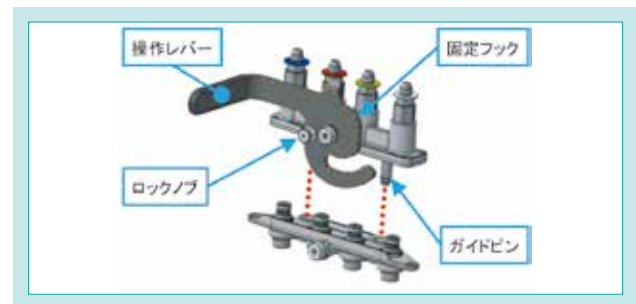


図6 新4本同時クイックカプラ
Fig. 6 New 4P Hydraulic Quick Coupler

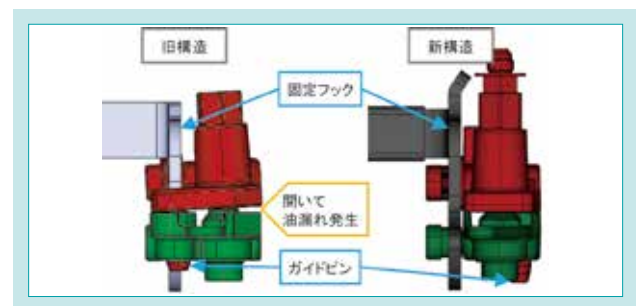


図7 ガイドピンの役割
Fig. 7 Effect of the Guide Pins

漏れる問題が生じた。そこで、ガイドピンの位置をフックと反対側に移動させ、倒れ防止の役割も担う構造とした。この結果、固定フックが片側のみでも油漏れしないクイックカプラとすることができた(図7)。

以上の対応により、BXトラクタ用クイックカプラの小型化を実現でき、運転席からのホースの結合及び分離が可能となった。

3-2 フック方式マウント機構

本機構を開発するにあたっての課題は、離れた位置にあるマウントピンを抜き差しする操作をなくし、運転席から操作

3.2.1 マウント部の方式変更

マウント部の固定方式をピン方式からフック方式へと変更することで、運転席からの操作を可能にした。図8に示すように、マウント部はサイドフレームにピンで固定されたマウントフックと、このマウントフックを操作するためのフックレバー、そしてマウントフックとフックレバーをロック方向に引っ張るバネの3つの主要部品で構成される。ローダ装着時の操作手順は以下のとおりである。

- ① フックレバーがロックポジションにあることを確認する。
- ② ブームシリンダを作動させることで、サイドフレームをメインフレームに引き寄せせる。
- ③ マウントフックがメインフレームボスを乗り越えると、バネの作用によりマウントフックがメインフレームボスにロックされる方向に引っ張られ、マウント部は自動的に固定される。

またローダ離脱時には、フックレバーをロック解除ポジションにすることで、マウントフックがメインフレームボスから離れ、マウント部の固定は解除される。

可能な方式に変更することである。この課題に対し、新ローダの開発では以下のように解決を図った。

以上のように、マウント部の固定及び解除を運転席から行うことが可能となった。A社も同じくフック方式を採用しているが、マウント部の解除方法が異なる。A社にはフックレバーはなく、マウントフックを直接持上げる必要がある。そのため、マウント部の解除にかかる操作力は108 Nと非常に大きい。これに対し、本機構はフックレバーを介してマウント部の解除を行うため、操作力を39 Nに抑えることができ、A社との差別化を図ることができた。

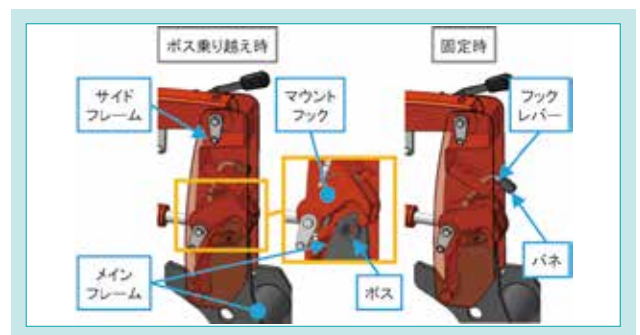


図 8 新ローダのマウント部
Fig. 8 Mounting Part of the New Loader

3-3 バケツ連動スタンド

本機構を開発するにあたって課題は以下の2点である。

- (1) 運転席から降りずに、スタンドを格納と展開すること
 - (2) 運転席から降りずに、スタンドを固定と解除すること
- これらの課題に対し、新ローダの開発では以下のように解決を図った。

3.3.1 運転席からのスタンドの格納と展開

運転席から降りずにスタンドの格納と展開を行うために、バケット操作と連動したスタンド機構とした。本機構は、スタンドを支持するリンク1とリンク2及びスタンドの格納を補助するリンク3から構成される。リンク1はスタンドと、リンク2はブームと、リンク3はバケット回動支点と、それぞれ連結されている。これらのスタンド機構は視界性やトラクタのメンテナンス性にも配慮し、収納時は可能な限りブームの内側に収まるように工夫した。スタンド格納時の操作手順は以下のとおりである(図9)。

- ① バケツをダンプ操作する。
- ② リンク3がバケット回動支点を中心にバケットの動きに連動して上方に動く。
- ③ その過程でリンク3がリンク1を後方に押し出す。
- ④ リンク1とリンク2は突っ張ることなく、折り畳まれる方向に動く。

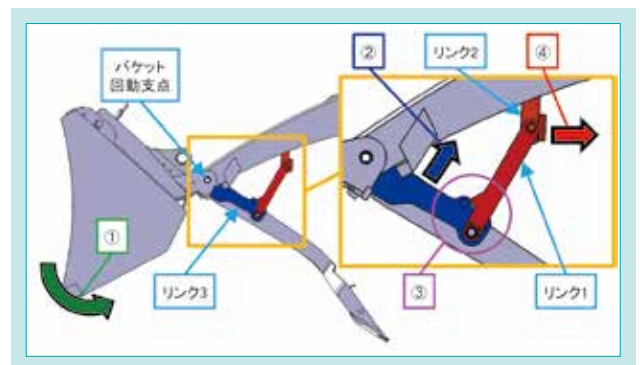


図 9 格納時のスタンドリンク動作
Fig. 9 Movement of the Stand Links During Storing

- ⑤ バケツが直接スタンドを押し上げ、スタンドは格納される。

一方、スタンド展開時にはスタンドは重力の力で落下し、バケットのスクイ操作に連動して展開される。その際、リンク1とリンク2がバネの作用により突っ張る方向に動き、スタンドを支持する(図10)。

以上のように、スタンドの動きをバケット操作と連動させることで、運転席から降りずにスタンドを格納・展開することが実現できた。

3.3.2 運転席からのスタンドの固定と解除

運転席からスタンドの固定と解除を行うために、操作レバーを設けた。操作レバーはオペレータが操作しやすいローダ左側に配置し、スタンドを固定する左右のフックと連結した

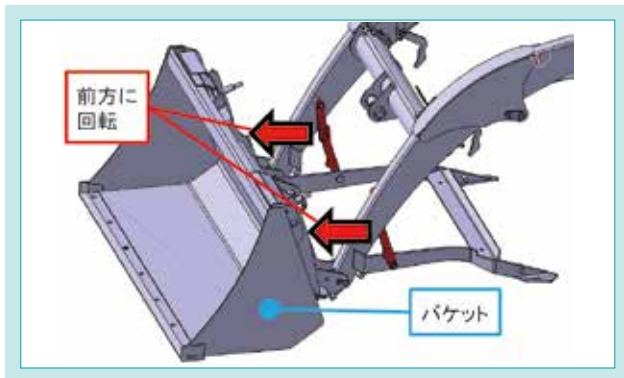


図 10 展開時のスタンドリンク動作

Fig. 10 Movement of the Stand Links During Deploying

(図11)。操作レバーを上下に動かすことで、左右のフックは格納されたスタンドを固定する、又は解除する方向に動く。このように運転席からの操作を可能にした。

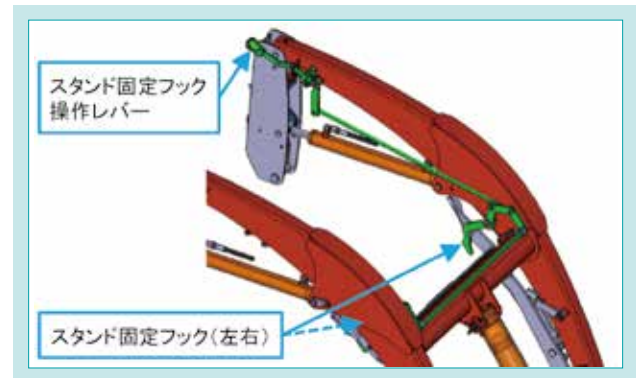


図 11 スタンドフックのリンク機構

Fig. 11 Mechanism of the Stand Hook Links

4. 開発の効果

上述のとおり、新ローダでは着脱のステップごとに3つの新機構を開発することで、目標とした「トラクタから1度も降車することなく着脱可能なこと」を達成した。加えて、4本の油圧ホースの着脱をまとめて行えるようにしたことから、新ローダは着脱にかかる所要時間を大幅に削減することにも成功した。クボタの新旧ローダ及びA社のローダについて、着脱時のトラクタの降車回数と所要時間を計測した結果は表4に示す通りである。これによりユーザは、着脱の度にかかっていた手間と時間を大幅に節約できる。

新ローダは新着脱機構を開発することにより、着脱における降車回数のみでなく所要時間においても、A社のローダよりも優

れた性能を有するローダとすることができた。この結果、2017年の米国におけるBXTトラクタのディーラ卸売台数は前年比44%増と大幅な伸びを見せ、BXTトラクタの事業拡大に貢献することができた。

表 4 ローダ着脱の所要時間と降車回数

Table 4 Required Time and the Number of Times of Getting Off, to Mounting and Dismounting the Front Loader

		LA243(18BX)	A社ローダ	新ローダ(BX80)
装着	降車回数	3回	1回	0回
	所要時間	2'46"	1'51"	1'24"
離脱	降車回数	3回	1回	0回
	所要時間	2'03"	1'49"	1'19"

5. おわりに

北米向けBX80シリーズトラクタ用フロントローダは、市場で評価を得ていた「インプリメント着脱の容易さ」というコンセプトに着目し、既存の着脱容易機構を更に進化させた「トラクタから1度も降車することなく着脱可能な」新着脱機構を開発したことで、市場の要求に応えることができた。本ローダでは、着脱の際にユーザを煩わせる油漏れの問題にも対応するなど、着脱の容易化以外の面でも高品質化を図っており、市場から高

い評価を得ている。

今回開発した着脱機構を備えたフロントローダの反響は大きく、スイフトタッチローダの名称で今後はシリーズ化を推進していく。スイフトタッチローダはサブコンパクトトラクタのみならず、より車格の大きなコンパクトトラクタにも展開していくことで、ローダ事業の更なる拡大に貢献できると考える。

SDGs のターゲットへの貢献

11.3 包摂的かつ持続可能な居住計画・管理能力の強化 誰にでも容易に使用可能な機械を提供することで、緑地整備と美観向上に貢献

タイ向けL形トラクタ搭載 KET 製ディーゼルエンジン D1803-M-DI の開発

Development of the D1803-M-DI Diesel Engine (KET) for L-type Tractors in Thailand

エンジン技術部

近年、タイでは農業の大規模化と使用燃料の高騰に伴い、高出力・低燃費に対するニーズがますます高まっている。KET(Kubota Engine Thailand)生産でタイ向けトラクタに搭載されているエンジンD1703 に対して搭載互換性を維持しつつ高出力化ニーズに応えるため、クボタ独自の排気量である1.8 L エンジンを採用した。燃料噴射系の最適化により低燃費・高信頼性を高次元で両立しながら、新興国特有の本機使用方法・環境に対応するマーケットイン志向の開発を行った。

【キーワード】

KET、D1803-M-DI、低燃費、高信頼性、フリクション低減

Recently, customers in Thailand have demanded higher power and lower fuel consumption more than ever due to the expansion of the scale of farming and increase in fuel costs. We have developed a new 1.8 L diesel engine which can make it possible to both increase power density and keep the compatibility of the current 1.7 L diesel engine at a higher level. The motivation for this development is to incorporate the needs of the market into a product matching the special operations and conditions in Thailand.

【Key Word】

KET, D1803-M-DI, Low Fuel Consumption, High Durability, Low Friction

関連する SDGs



1. はじめに

2012年に立形ディーゼルエンジン初の海外生産拠点となるKETが稼働を開始し、新興国向け社内搭載を主として03Mシリーズを生産している。タイSKC生産のL形トラクタに搭載されているKET製D1703-M-DI(26.5 kW)はコンパクト性、低燃費性、また高い耐久信頼性により、市場から高い評価を得ている。今回、タイ向けL形トラクタのモデルチェンジに合わせてトラクタの出力や燃費性能の向上、並びにKETのラインアップを充実させるべく、既存機種から基本性能を向上させた03Mシリーズ3気筒最大排気量となるD1803-M-DIを開発した。開発対象としたD1803-M-DIの主要諸元を表1に示す。

表 1 開発エンジンの主要諸元
Table 1 Specifications

Model	D1803-M-DI
Combustion System	Direct Injection (DI) System
No. of Cylinders	3
Bore × Stroke [mm]	φ 87 × 102.4
Displacement [L]	1.826
Brake Horsepower Gross intermittent [kW/rpm]	29.5/2700
Dimensions [mm] (Length × Width × Height)	560 × 492 × 636
Weight [kg]	151

2. 開発のコンセプト

2-1 開発のコンセプト

近年、競合他社がタイ市場に28.7 kWのトラクタを市場投入しており、エンジンに対しては高い信頼性、搭載性を維持しつつ、より一層の高出力化が求められている。またタイ市場では、ランニングコスト低減を中心とした低燃費ニーズが強く、イニシャルコストと合わせた製品トータルのコスト競争力強化も強く求められている。更に、オイルインターバルのロングメンテナンス化に対する要求も高まっている。

しかしながら、排気量を変えずにD1703-M-DIの高出力化ニーズに応えるためには、高回転化又はターボ化しか

なく、燃費やパッケージング等の点で本機ニーズに合致しない。そこで、高出力、低燃費といった本機ニーズに合致した高出力密度化エンジンを開発した。

本機の製品競争力向上を目的に、以下の開発コンセプトを設定した。

- 1) 厳しい使用環境下でも高信頼性と基本性能を両立する、メカ制御噴射系の開発
- 2) コストミニマムで基本性能向上(高出力、低燃費性能、オイル消費低減)
- 3) 搭載互換性の堅持

2-2 開発目標

1) 搭載互換性

従来のD1703(1.7 L)から図1に示すD1803(1.8 L)への載せ替えにより、排気量アップによる定格出力11%向上を実現しながら、エンジンのサイズアップを最小限に抑えることで本機への搭載互換性を堅持する。

2) 実作業燃費低減

定格点だけでなく、トラクタのロータリ作業(高速/中～高負荷域)など、タイで行われる本機実使用域で5%以上の低燃費化を達成する。

3) オイル消費低減

オイル消費率30%低減を目標とし、オイル交換インターバルのロング化を実現する。

4) コスト競争力強化

基本性能を維持・向上しながら部品のコストダウン、部品点数の削減を行うことでイニシャルコストを低減し、製品の顧客満足度を向上する。

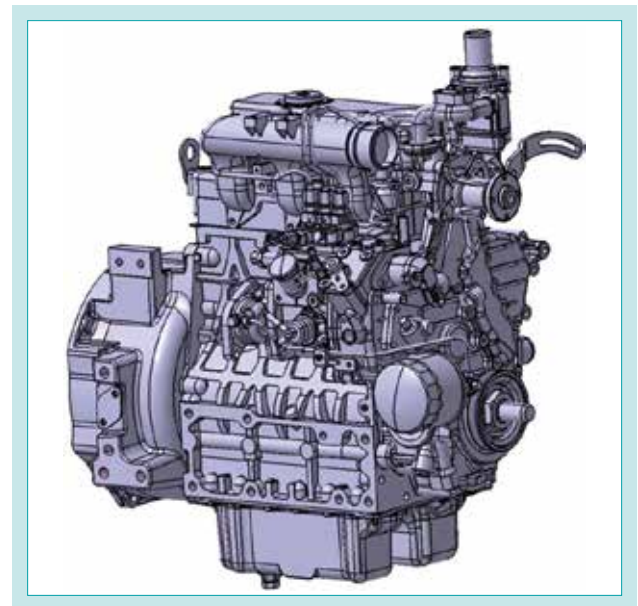


図1 D1803 エンジン外観図
Fig. 1 External View of D1803-M-DI

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) 搭載互換性に関する技術課題

出力アップによるエンジン部品への負荷増大に対し、部品の材質や機構変更のみに留めることでエンジン全体のサイズアップを最小限に抑える必要がある。

2) 実作業燃費低減に関する技術課題

燃料の高圧噴射を行い噴霧の微粒化を促進することで、作業域全域での燃焼改善が実現できる。高圧噴射を可能とする燃料カムはカム表面にかかる圧力が高くなるため、最適な表面処理を行い低燃費性と高い耐久信頼性を高次元で両立することが課題となる。

3) オイル消費低減に関する技術課題

幅広い回転、負荷域におけるオイル消費低減と相反する低フリクション化の高次元での両立が肝要となる。また新興国特有の本機使用負荷域における、ピストンリングの挙動が不安定となりオイル消費量が増大する現象を抑制する必要がある。

4) コスト競争力強化に関する技術課題

本開発ではオイルポンプに着目し、コスト競争力強化に向けた部品点数削減と機能向上を兼ね備えた構造を検討する必要がある。

4. 開発技術

4-1 高出力化と搭載互換性の両立

従来機種に対し定格出力、最大トルクとも11%向上することにより各エンジン部品に対する負荷が増大する。ピストンのサーマルフロー形状への変更やフォークレバーピン部のローラ化、クランクシャフトジャーナル部へのR焼入れ追加などの技術により、厳しい耐久評価基準をクリアした。これら変

更はいずれもサイズアップを伴わず、従来機に対しストロークアップ分の高さ方向に5 mmアップのみに抑えた。これにより軽量・コンパクト性を重視するタイ市場で重要な指標となる出力密度は従来機種に対し8%アップし、他の同出力帯のエンジンに対してクラス最高の高出力密度化を達成した。

4-2 低燃費化に向けた高噴射率化

低燃費化を実現するためには、燃料噴霧の微粒化促進により、燃焼効率を向上させることが重要である¹⁾。噴霧の微粒化を促進するため、燃料カム形状を接線形状から凹面形状に変更した(図2)。凹面形状に変更し初期の噴射量が増加(図3)することで、燃料噴射期間を従来比5%短縮し燃料の微粒化を促進した。これにより、定格点では従来機種に比べ約4%、ロータリ耕の2200~2600 rpmの高負荷で約5%、ディスクハローやドーザ作業の1400~2200 rpmの中・高負荷域では約8%の燃費低減効果を確認した。

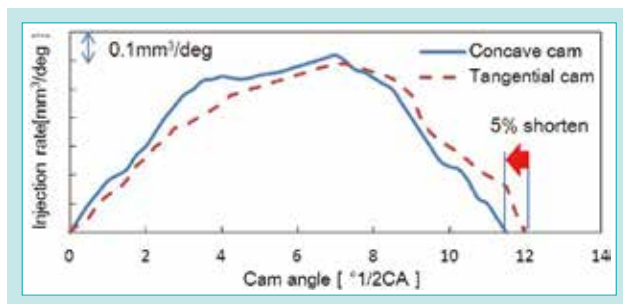


図3 燃料の高噴射率化の実現
Fig. 3 Higher Fuel Pressure Injection

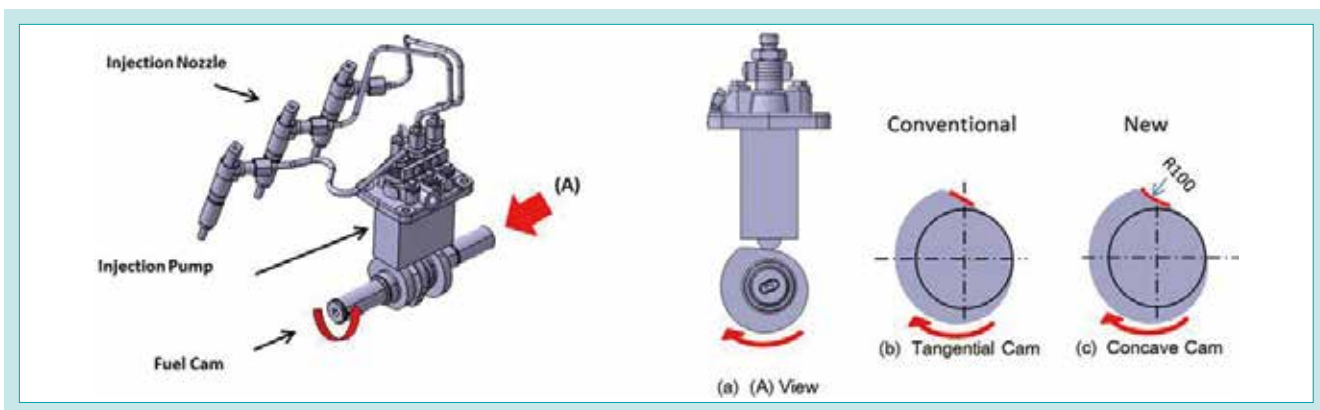


図2 凹面燃料カムの採用
Fig. 2 Fuel Camshaft with Higher Pressure Injection

4-3 燃料カムの耐久信頼性の確立

噴射率の向上により、カム加速度も従来比15%増加することから、カムの疲労強度を見直す必要がある。焼入れなどの表面硬化処理により、疲労強度を向上させるに当たり、コスト面も含めた最適化が重要となる。

本開発では、燃料カム表面に発生するヘルツ応力に対して表面硬度(残留圧縮応力)の最適化を行った。ヘルツ応力の算出結果は、従来比で4%高い一方で、上位機種であるV2403T量産機種のヘルツ応力は更に5%高い。V2403Tでは浸炭焼入れ処理に加えショットピーニングを行っているが、本開発エンジンでは浸炭焼入れのみとしコストを抑えた上で、耐久性が担保されていることを実機で確認した。このように、ヘルツ応力の算出値と量産実績を基に、図4に示す最適な熱処理条件を導くことができた。本研究で得られた知

見は他機種でも展開でき、予め各部品にかかるヘルツ応力を算出することで開発期間の短縮を可能とした。

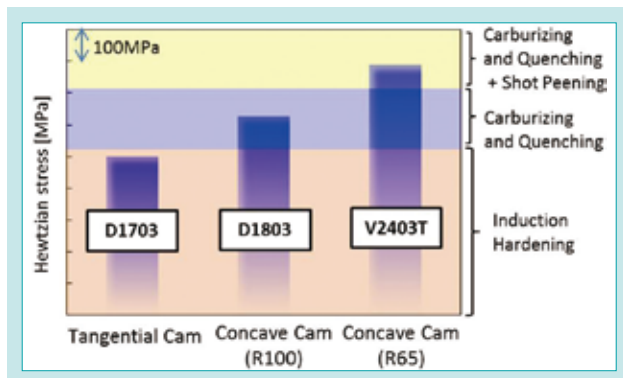


図4 適切な熱処理条件の選定
Fig. 4 Optimization of Heat Treatment

4-4 フリクション低減とオイル消費低減の両立

燃費低減のため、ピストンリングの中で最も張力の高いオイルリングの低フリクション化を検討した。オイルリングの張力を従来比で33%低減した結果、最大約8%のフリクション低減を達成した。一方で、一般的にオイルリングの低張力化によりシリンダライナのオイル掻き下げ性能が低下し、オイル消費が悪化する傾向がある²⁾。すなわち、高回転、高負荷域でのピストン速度、熱負荷によるシリンダライナ変形量の増大に伴うオイル消費の増加を抑制する必要がある。そこで、オイルリングを4 mmから2 mmへ薄幅化し、またオイルリング先端形状のナロー化(図5)による接触面積の低減により、リングのシリンダライナに対する面圧を保持するとともに、

ライナ変形に対する追従性を高め、低張力化とオイル消費低減を両立させた。

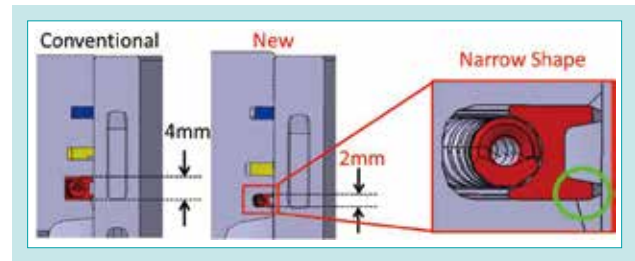


図5 オイルリング形状の最適化
Fig. 5 Optimization of the Oil-ring

また、軽負荷域でのオイル消費低減に向けては、ブローアップを抑制することが重要となる。ブローアップとは、クランクケース内の空気がピストンリングの隙間からピストン上部へオイルとともに噴き上がる現象をさす(図6)。混入したオイルが燃料とともに燃焼することで、オイル消費率悪化の原因となる。

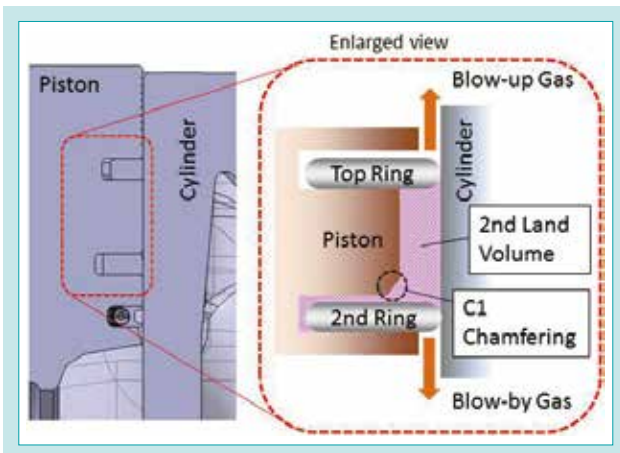


図6 ピストンリング周りのガスフロー
Fig. 6 Gas Flow Around Piston Ring

軽負荷域では、ピストン膨張行程において筒内圧と2ndランド圧(ライナ、TOP、2ndリング、ピストンで囲まれた部分の圧力)のバランスが一時的に逆転し(図7)、TOPリングが浮き上がる。ピストンリングの不安定な挙動により無負荷低速域でブローバイガスが低下、ブローアップが増加していることがシミュレーションの結果により得られた。

膨張行程における筒内圧と2ndランド圧のバランスがブローアップに影響することから³⁾、2ndリングの合口隙間を36%拡大し、ピストンの2ndランド上端部にC1面取りを追加した。これら形状変更により2ndランド容積が増加し脈動の影響を受けにくくなる。軽負荷域のブローアップ抑制効果がシミュレーションで得られ、実機でも無負荷低速域でブローバイガスが増加していることを確認した(図8)。

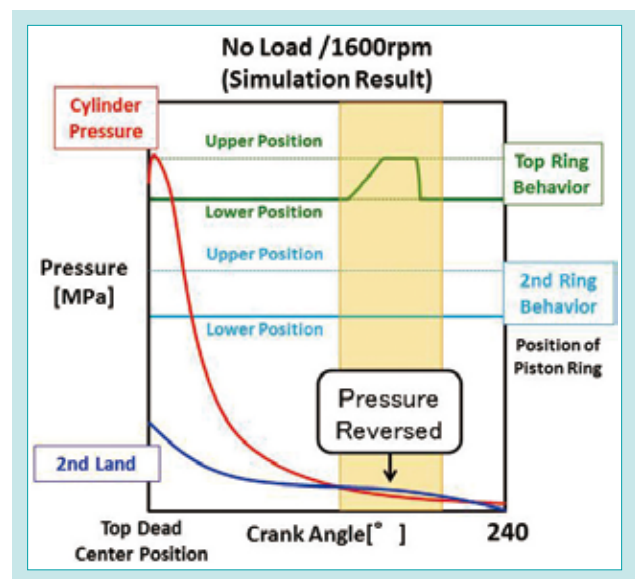


図7 ピストンリングの挙動
Fig. 7 Piston Ring Behavior

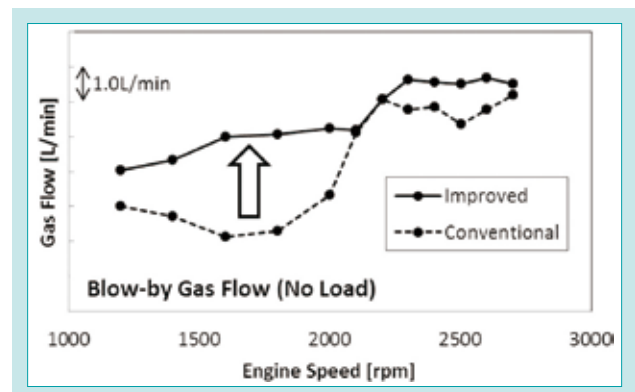


図8 エンジン実機におけるブローバイガス流量変化
Fig. 8 Actual Data of Blow-by Gas Flow

高負荷から軽負荷までオイル消費を改善したことで、新機種は従来機種と比較してオイル消費を30%低減した。一方、2ndリングの合ロスキマを拡げ軽負荷域のブローアップを抑制したことで、ブローバイが増加する傾向にある。TOP

リングの合ロスキマを従来から22%狭小化することで、高負荷域におけるブローバイの増加を抑制し、燃焼ガスによるオイル劣化も同時に抑制した。以上により、オイル劣化抑制とオイル消費低減を同時に達成し、タイにおいて本機オイルメンテナンスインターバルを従来の200 hrから400 hrに口

ング化を実現した。

クボタ独自の本ブローアップ低減技術は他機種へ横展開可能であることも強みであり、03Mシリーズの他機種に加え、NSM・05シリーズエンジンにも展開済みである。

4-5 コストダウンと性能改善の両立

D1803-M-DI-E-TS1Tでは現調化を強化し、CKD部品の新規採用点数は0に抑えることで、部品全体の構成割合は従来機同等の18%に抑えた。また標準・兼用品が76%を占め、専用部品を7%とすることで部品の量産効果を活かし、従来機種のD1703と同等のコストに抑えた。

加えて、本開発機種のオイルポンプはギヤケース内蔵化(図9)とし、従来のオイルポンプに対して部品点数を削減した。

CKD: Complete Knock Down、他国や他企業で生産された製品の主要部品を輸入して、現地で組立する際に、部品製造以外の複雑な工程を全て現地で行わせるもの。

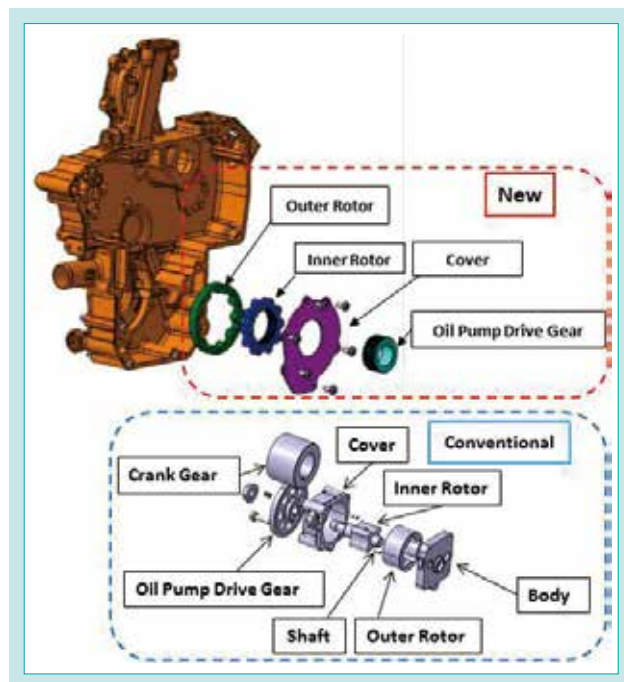


図9 オイルポンプ内蔵化
Fig. 9 Build-in Oil Pump

性能面ではポンプ性能そのものが向上しているため低速域でも十分に油圧を確保し(図10)、新興国での多様な作業下においてもエンジン部品へのオイル供給を確実に行うことができる。加えて、リリーフバルブのマッチングのみでオイル供給量が調整可能なため他仕様への横展開が容易となる。

また、油圧立上り性能についても従来のオイルポンプに比べ大幅に改善している(図11)。内蔵オイルポンプをターボ機種に横展開することで、冷時におけるエンジン始動後のターボへのオイル供給タイムラグを極小化でき、部品耐久性のさらなる向上を可能にする。

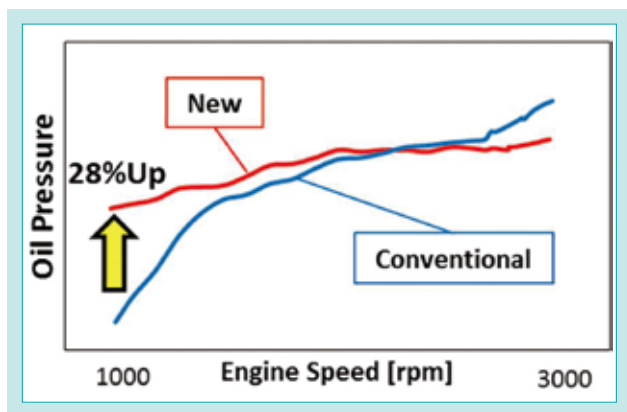


図10 エンジン回転数と油圧関係
Fig. 10 Relationship Between Engine Speed and Oil Pressure

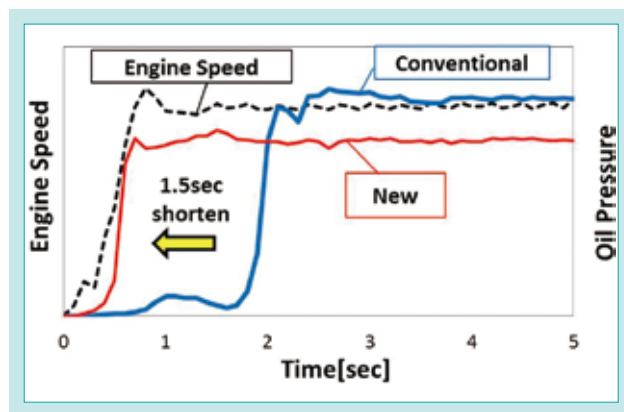


図11 油圧立上り性能
Fig. 11 Rise Time of the Oil Pressure

5. おわりに

筑波で実績のあるD1803-M-DIをベースに、KET製として、マーケットイン志向に基づく高出力化を達成するとともに、従来の耐久信頼性を維持しつつ、低燃費化、オイル消費低減等の基本性能の向上を同時に実現した。また、本開発の中で以下の点を確立した。

- 1) 噴射ポンプの高圧化、高噴射率化に応じて燃料カムに要求される疲労強度の算出と耐久信頼性を確保に必要な熱処理条件の関係を確立した。
- 2) 軽負荷でも使用されることの多いタイ市場において、軽負荷域におけるオイル消費低減にチャレンジし、高負荷域だ

けではない新たなオイル消費低減の方向性を示した。

- 3) ピストンリングの挙動解析から合口隙間の最適化を行う、他シリーズエンジンでも展開可能な手法を確立した。

本開発エンジンはKETにてタイ向けトラクタ用エンジンとして2016年8月より量産を開始した。エンジンの高性能が市場で評価され、KET生産の基幹機種となっている。搭載本機の製品競争力強化に寄与し、エンジン事業部と本機事業部に大きく貢献した。

SDGs のターゲットへの貢献

- 7.3 エネルギー効率の改善 従来機に比べ燃費を定格点で4%、実作業域で最大8%低減

参考文献

- 1) 山本崇: 新型2.8L直列4気筒ディーゼルエンジン(ESTEC GD)の開発、SAE-S295(2015)
- 2) 林昌樹: ピストンリング周りにおける オイル消費メカニズムの解析、SAE-S321(2015)
- 3) 吉田秀樹: ピストンのセカンドランド容量と形状によるオイル消費の低減、自動車技術会論文集27(1996)

エンジニアリングテレマティクスの開発

Development of Telematics for the Engineering Process

エンジン技術部／エンジン事業推進部

世界で事業展開するクボタは、タイムリーに複数の排出ガス規制に対応したエンジンを開発すると同時に、多種あるアプリケーション毎の使用状況に合わせたきめ細かな搭載エンジニアリングが必要である。電子制御エンジンは排ガス制御などの高度な機能を有する上、アプリケーションとの統合制御が必要であり、メカエンジンと比較し搭載時の確認事項は増加の一途を辿っている。技術員が現地に赴きデータ収集を行う従来手法では試作機や市場調査機の多量のデータをタイムリーに収集できず、グローバルな搭載エンジニアリングを実現できない。この課題解決のため、無線通信回線を活用し搭載エンジニアリングに特化したテレマティクスシステムを開発した。

【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

As a global industrial engine manufacturer, KUBOTA needs to develop engines that meet emissions regulations in each market, and simultaneously remodel the engineering process to provide a service to satisfy customer demands carefully depending on their usage in each application. An electronically controlled engine is necessary with high functionality such as exhaust emission control, although it requires integrated control with the application, leading to a steady increase in the number of check items compared with the case of a mechanical engine. Moreover, timely collection of huge real data from prototypes in field trials becomes more and more important, which is difficult with the conventional offline approach by engineers. To overcome these problems, we have developed the telematics system utilizing a wireless communication line, especially focusing on the engineering process.

【Key Word】

Engineering Process for Applications, Data Analysis, Telematics, Electronically Controlled Engine

関連する SDGs



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出ガス規制に対応するため、その型式は約2,000種類となっており年間の生産台数は増加の一途を辿っている。

世界中で使用され、仕様も多岐にわたる電子制御エンジン

の試作機や市場調査機からエンジン運転データを取得するためには、従来はエンジン担当者が現地に赴きデータ収集を行う必要があった。そのため、現地に到着するまでエンジン運転状況の詳細を知ることができなかった。

また、収集データが多量となった場合、データ分析をその場で行うことは難しく、特に搭載機械の担当者がエンジンの細か

な運転状況を把握することは困難であった。このように従来技術ではエンジン・搭載機械双方において、コスト面、開発の質、スピード面など種々の点で課題があった。

本稿では、これらの課題を解決し、グローバルな搭載エンジニアリングを実現可能とした「エンジニアリングテレマティクス」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、グローバルな搭載エンジニアリングを可能とする「エンジニアリングテレマティクス」は以下2点を開発コンセプトとする。

(1) グローバル搭載エンジニアリングの実現

エンジン開発の立場から、その開発の質とスピードを向上し、市場投入を迅速化するため、搭載機械評価時のエンジニアリングをスピーディかつ高精度、グローバルに実現可能とする。

(2) 搭載機械・エンジン双方に有益な情報の配信

搭載機械開発の立場から、膨大なエンジン運転データを元に搭載機械担当者が必要とするデータを抽出し、容易に運転状況を把握可能とすることで、搭載機械・エンジン間の情報共有の精度向上、課題解決の時間短縮を図り、搭載機械開発を迅速化する。

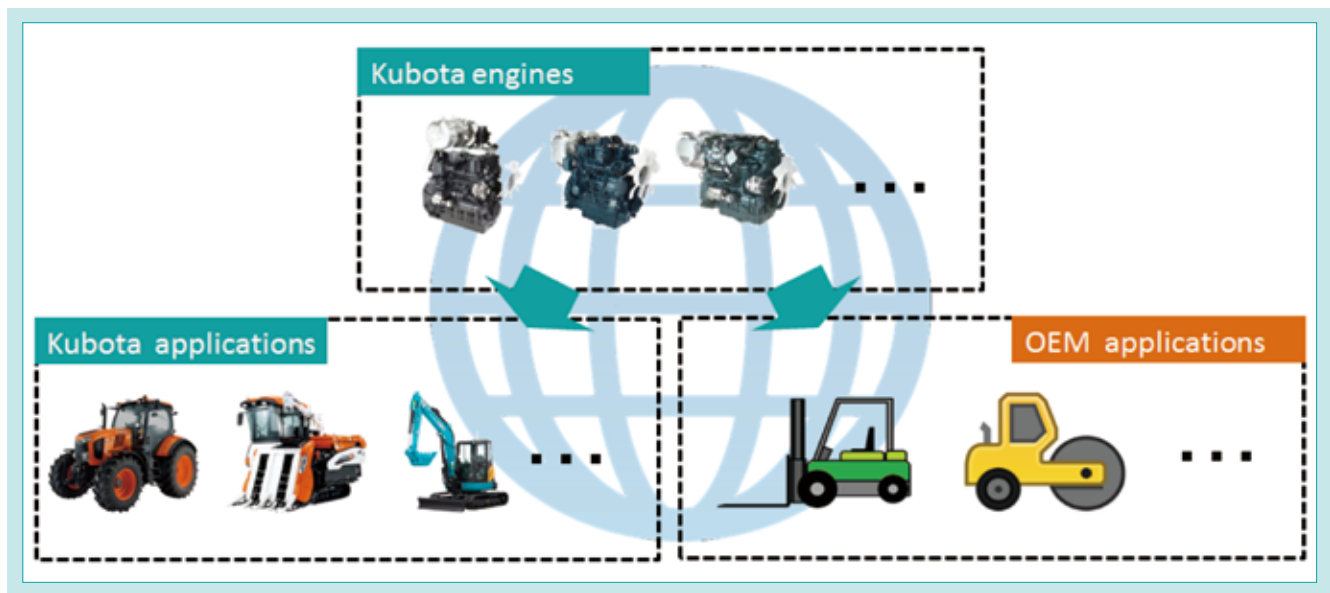


図1 クボタエンジンの搭載状況
Fig. 1 Applications

2-2 開発目標

(1) 無線通信を活用したテレマティクスにより、遠隔地の運転データをリアルタイムに取得可能なシステムを構築する。

(2) 現地より取得した運転データを様々な形で蓄積、分析、表示し運転状況の把握が容易なシステムを構築する。

3. 解決すべき技術課題

(1) 搭載エンジニアリングに必要なエンジン運転データを遠隔地からリアルタイムに監視可能であり、かつ、試験状況に応じて取得するデータ項目を柔軟に変更可能にする機能の実現。

(2) 膨大な運転データを単純な時系列データではなく誰にでも運転状況を把握し易い形式で、かつタイムリーに配信するレポート機能の実現。

4. 開発技術

4-1 エンジニアリングテレマティクスの概要と構成

4.1.1 テレマティクス

テレマティクスとは自動車や産業機械のような移動体に無線通信を組合せ、リアルタイムに情報サービスを提供する技術である。

4.1.2 エンジニアリングテレマティクスの構成

エンジニアリングテレマティクスの構成を図2に示す。

(1)ゲートウェイ(Gateway)

エンジンを制御するECU(Electronic Control Unit)からCAN(Control Area Network)通信プロトコルを利用して運転データを取得し、3G通信によりリアルタイムデータサーバにアップロードする。また、柔軟なデータ取得を実現するためのデータベースを内蔵する。

(2)リアルタイムデータサーバ(Real Time Data Server)

ゲートウェイより取得した運転データを蓄積しリアルタイム配信を行う。ユーザは本サーバにインターネット接続することで遠隔地のエンジンの詳細な運転データをリアルタイムに参照でき、より細かな運転状況を把握することが可能である。

(3)データベース (Database)

ゲートウェイとリアルタイムデータサーバに内蔵されており、以下の情報を管理する。

- ・運転データ取得元ECUの種類
- ・CAN通信接続設定
- ・取得する運転データ項目

本開発では、テレマティクスに後述の各開発機能を組み合わせることにより、エンジニアリングテレマティクスを開発した。

(4)レポートデータサーバ (Report Data Server)

リアルタイムデータサーバより取得した時系列の運転データを分析し、その結果をグラフや表等を用いたわかりやすいレポート形式で配信する。

ユーザは同レポートを一瞥するだけで遠隔地のエンジンの大まかな運転状況を容易に把握することができる。

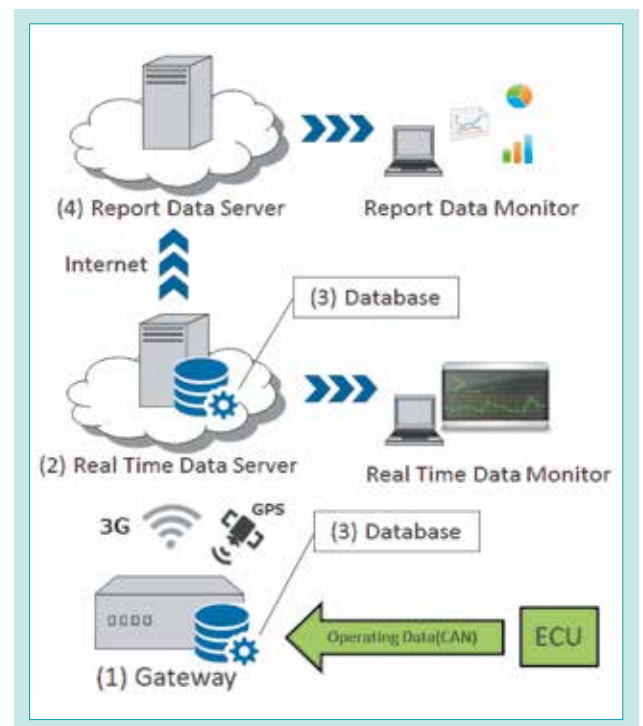


図2 エンジニアリングテレマティクスの構成
Fig. 2 Overall Structure

4-2 グローバル搭載エンジニアリングの実現

4.2.1 多種多量かつ柔軟なデータ取得

従来のデータロガーを利用する運転データ取得方法は取得可能なデータの量、項目に制限があった。また、取得するデータ項目は現地でのみ設定可能であり、試験状況に合わせたデータ収集は困難であった。

ゲートウェイとサーバの連携によるデータ取得方法を開発し、この課題を解決した。

4.2.1.1 複数CAN通信プロトコル対応

ゲートウェイは複数のCAN通信プロトコルに対応することにより、様々な運転データを取得可能である(図3)。

- ・KWP: サービスに関する情報を管理
- ・XCP/GCP: 開発向けの詳細パラメータを管理
- ・J1939: 搭載機械、エンジン間の通信情報を管理

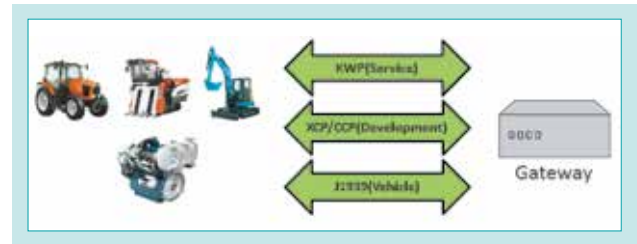


図3 CAN通信
Fig. 3 CAN Communication

4.2.1.2 取得データ設定機能

ゲートウェイが取得するデータ項目をオフィスより設定可能とすることで試験状況に合わせた柔軟かつタイムリーなデータ収集を可能とした。

取得データの設定手順は以下のとおりである(図4)。

- (1) ユーザはリアルタイムデータのモニタ画面より、試験状況に応じて取得したいデータ項目を選択する。
- (2) 選択した内容でリアルタイムデータサーバのデータベースが更新される。
- (3) (2)で更新されたデータベースがゲートウェイにも反映され、以降ゲートウェイは(1)で選択されたデータ項目をECUから取得する。

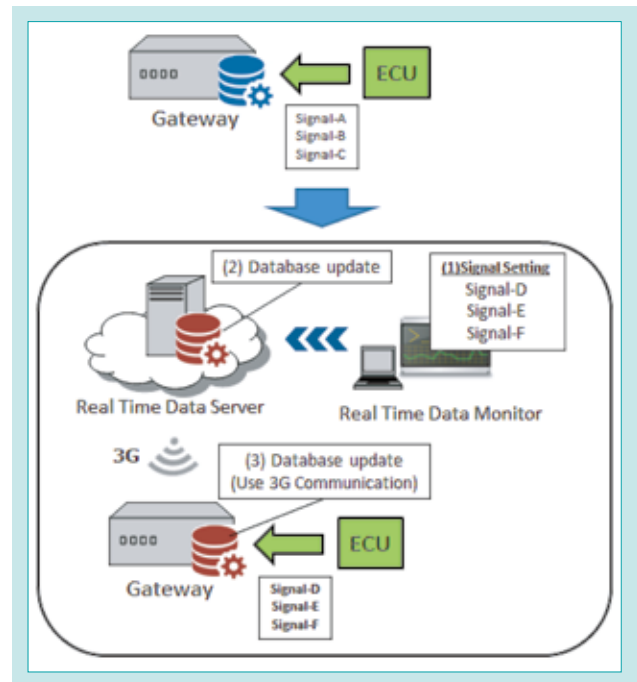


図4 取得データ更新手順
Fig. 4 Update Flow for Database

4.2.1.3 大容量ストレージの導入

従来のデータロガーを利用する運転データ取得方法では取得可能なデータの量、項目の制限から、データ回収のために頻りに現地に赴く必要があった。

本システムではクラウドサーバによる大容量ストレージを導入することでリアルタイムのデータ収集、配信が可能となった上、取得可能データ量(信号の数や種類、期間)が大幅に増加し、データ回収のために現地に赴く頻度を抑制することができる(表1)。

表1 データ容量比較
Table 1 Difference of Data Capacity

	Data Logger (Previous)	Telematics
Number of signals	<u>20</u> signals	<u>200</u> signals
Type of signals	Below <u>1,000</u> types	Over <u>8,000</u> types
Number of days	Several <u>days</u>	Several <u>months</u>
Frequency of field work	High	Low
Remote setting	Impossible	Possible

4.2.2 搭載機械・エンジン双方に有益な情報の配信

従来、データロガーで取得した運転データは時系列で記録されていたため、別途エンジン担当者による詳細なデータ分析を行わなければ運転状況の把握を行うことが不可能であった。

リアルタイムに運転データを取得するゲートウェイと、様々なデータ分析、配信処理が可能なサーバを連携させることで、この課題を解決した。

4.2.2.1 クボタ独自のわかりやすいデータ閲覧

ゲートウェイより3G経由で取得した時系列データをサーバにて自動分析し、誰にでも運転状況を容易に把握可能な運転レポート(図5)を配信する機能を開発した。



図5 運転レポート
Fig. 5 Daily Report

運転レポートの作成、配信フローは以下のとおりである(図6)。

- (1) リアルタイムデータサーバは、ゲートウェイから取得した運転データをレポートデータサーバに移行する。
- (2) 移行された時系列の運転データをレポートデータサーバ内で分析する。
- (3) 分析した運転データを元に、帳票やグラフ、マップ等の様々な形式で運転レポートを作成する。作成は毎日に自動的に行われるため、運転の翌日にはレポート参照が可能である。

運転レポートは搭載機械担当者もインターネット経由で参照可能であり、エンジン担当者でなくともエンジンの運転状況を容易に把握することができる。

また、レポートデータサーバにはユーザ管理機能を実装しセキュリティを確保している。

ユーザは運転レポートを参照する際、規定のID、パスワードによるシステムログインが必要であり、かつ、ユーザ毎に参照可能な情報を制限可能となっている。

例えばOEM(顧客)- A社向けクボタエンジンに関する運転レポートをOEM-B社が参照することは不可能である(図7)。

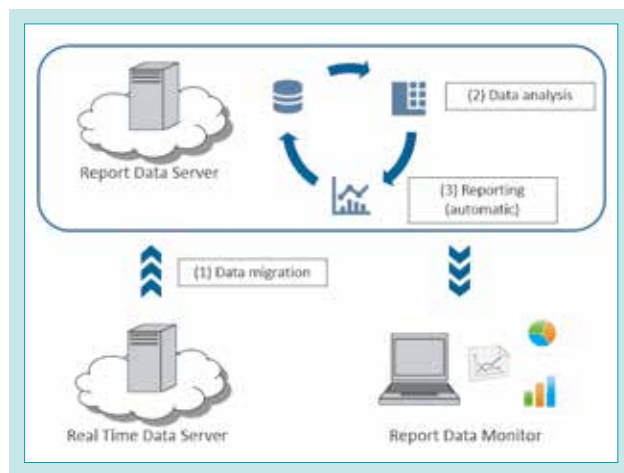


図6 運転レポートの自動生成
Fig. 6 Automated Report System

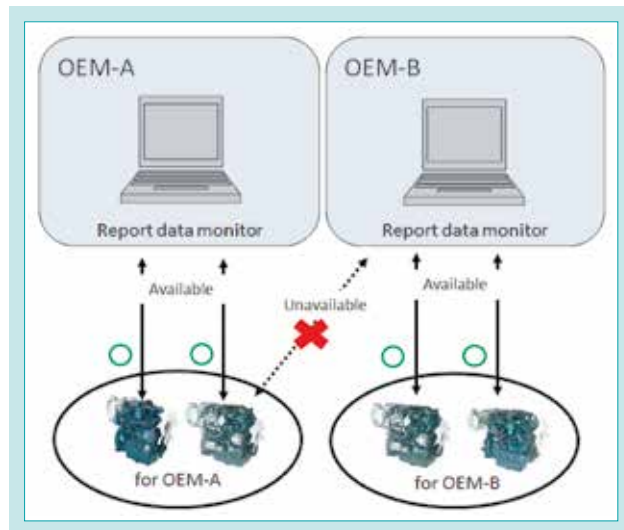


図7 ユーザ制御
Fig. 7 User Management

一般論文 3

エンジンリングテレマティクスの開発

5. おわりに

今回開発した遠隔地の運転データをリアルタイムかつ柔軟に取得するエンジニアリングテレマティクスにより

(1) エンジン開発効率化の観点として

- ・遠隔地の運転状況をリアルタイムに確認可能
- ・問題発生時の運転データの即時確認
- ・遠隔地への出張回数削減

などにより、エンジン開発業務のスピードアップ、質の向上が図れ、エンジン開発効率の向上につながった。

(2) 品質の観点として

遠隔地で運転される試作機、市場調査機の詳細状況をリアルタイムに確認可能となったことで

- ・搭載機械におけるエンジンの使用方法や稼働時間などを即座に把握
- ・レポートを用いて容易に運転状況の正常/異常を判定、また、異常時の詳細状況の参照
- ・実機動作検証が重要なデバイスの詳細動作確認

などが可能となり製品品質向上につながった。

産業用ディーゼルエンジンは各地域の排出ガス規制に適合

させるために様々なデバイスが付加され、使用用途も多種多様であり、これまで多数の型式が開発され今後も増加傾向にある。

エンジン型式毎に行われる搭載評価時や顧客先での評価にエンジニアリングテレマティクスを導入することで、搭載機械・エンジン双方のスピーディかつタイムリーな開発を実現した。

本開発により実現したグローバルな搭載エンジニアリングを今後より拡充、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。

SDGs のターゲットへの貢献

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上

リアルタイム運転データの取得及び迅速な分析・配信の実現により開発効率の向上に貢献

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)

NECS 生産方式の開発

Development of the NECS Manufacturing System

鉄管研究部／生産技術統括部

大地震が多発する日本では、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、水道事業者の予算削減等により水道管の耐震化は思うように進んでいない。このような中、予算の少ない中小規模事業者向けに低価格耐震型ダクタイル鉄管「NECS」を市場投入した。今回、この「NECS」を更に安価に提供するため、生産ラインを革新した。具体的には、①製造リードタイムの短縮、②製造コストの削減、③省エネルギー、を目的として、極限まで生産ラインのコンパクト化を狙ったNECS生産方式の各種要素技術を開発した。

【キーワード】

耐震型ダクタイル鉄管、コンパクト化、リードタイム短縮、省エネルギー

In Japan large earthquakes occur frequently, so the importance of having a water supply that is earthquake resistant is well recognized. However, the popularization of earthquake-resistant pipes has not progressed for reasons such as budget cuts in water utilities. In this situation Kubota marketed the "NECS: New Economic Earthquake-resistant Ductile Iron Pipe (DIP)" for small or medium-scale water supply entities. This time, in order to provide NECS at a lower cost, we revolutionized the production line. Concretely, we developed the ultimate compact production line called "NECS manufacturing system" for shortening the production lead time, reducing the production costs and saving energy.

【Key Word】

Earthquake-resistant Ductile Iron Pipe, Compactification, Shortening the Lead Time, Saving Energy

関連する SDGs



1. はじめに

高度経済成長時代に布設された水道管は更新時期を迎えており潜在的な需要はあるものの、水道事業者の予算削減等により更新率は0.8%に留まっている。また、国は耐震化率向上を推進しているが、特に、予算の少ない中小規模事業者では、耐震化が進んでいない。

そこで、耐震型ダクタイル鉄管(以下、耐震管)の主力製品であるGENEX(図1)に加え、中小規模水道事業者向けに呼び径75～150の低価格耐震管「NECS」を2015年にラインナップした(図2)。「NECS」の出荷量の推移を図3に示すが、発売から順調に増加し、出荷総延長は130kmを突破している。

「NECS」は低価格化のため、①管厚の薄肉化、②溶接ビード

による挿し口突部、③珪砂混合エポキシ樹脂による内面塗装、といった製品仕様面での変更がなされている¹⁾。

今回、①製造リードタイムの短縮、②製造コストの削減、③省エネルギー、のため、極限まで生産ラインのコンパクト化を狙ったNECS生産方式の各種要素技術を開発した。その後、これらの要素技術を盛り込んだNECSパイロットラインをクボタ阪神工場に設置し、試験生産を行い、量産化に向けて技術を確認した。

本論文では、NECS生産方式の開発内容について報告する。

尚、今後、鉄管製造では、NECS生産方式を取り入れることで、エネルギー消費量及びCO₂発生量の少ない製造ラインにより安価な水道管材を提供することにより、SDGsに取り組んでいく。



図1 GENEXの継手構造
Fig. 1 Joint Structure of GENEX



図2 NECSの継手構造
Fig. 2 Joint Structure of NECS



図3 NECSの出荷推移
Fig. 3 Fluctuation of Shipments of NECS

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

現行の生産ライン(GENEX)は大量バッチ処理を前提としているため、複数の建屋にラインが点在しており、横持ちや仕掛品の増加といった無駄が発生している(図4)。

そこで、NECS生産方式の開発コンセプトは次の2点とした。尚、今回の開発は焼鈍(鑄造後の熱処理工程)以降の製造工程を対象とした。

- (1)生産ラインのコンパクト化
(焼鈍～完成化まで一気通貫生産)
- (2)焼鈍余熱を利用した省エネルギー型生産ライン

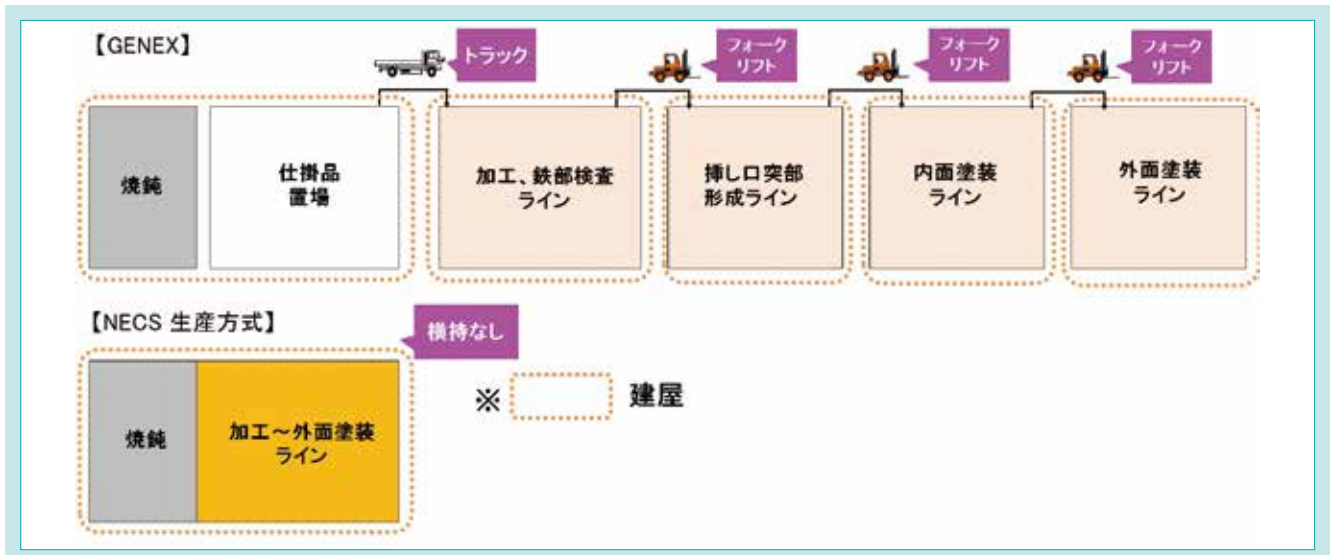


図4 NECS 生産方式のイメージ
Fig. 4 Image of the NECS Manufacturing System

2-2 目標値

NECSパイロットラインの目標を以下に示す。

- (1)ライン長: 現行の1/10
焼鈍工程のある建屋内で完成化
- (2)製造リードタイム(焼鈍～完成): 現行の1/30

- (3)エネルギー消費量: 現行の25%減
焼鈍余熱を利用し、塗装前の温調設備を廃止

3. 解決すべき技術課題

NECS生産方式を実現するために各種要素技術の開発に取り組んだ(表1)。本論文では、赤字で示す4つの技術課題に的を絞って報告する。

(1)水圧試験の代替検査技術の開発

図5に生産工程の比較を示す。現行の生産ラインでは、鉄部の水密性検査として内外面塗装前に水圧試験を行っているが、水圧試験により鉄管は冷却されるため、内外面塗装前に大規模な温調設備(予熱炉・温水槽)を設置している。NECS生産方式では、これら大規模な温調設備を用いず焼鈍余熱を利用するため、鉄管が高温の状態でも、水圧試験と同等の検査が可能な技術を開発した。

(2)簡易な挿し口突部形成技術の開発

耐震管に必要な挿し口突部の形成工程について、材料

費と工程数の削減が可能な新たな方法を開発した。

(3)焼鈍余熱を利用した内外面塗装技術の開発

①簡易な温度調整装置の開発

鉄管が自然冷却される中で、管厚や外気温のバラツキにより塗装前温度にバラツキが発生する。このバラツキを抑制し、塗装に最適な管温に調整する簡易な温調装置を開発した。

②外面塗装技術の開発

現行の生産ライン(GENEX)の外面塗装はスプレー方式であるが、塗料吐出時にミスト化するため、大型の集塵設備が必要である。設備面積削減のため、集塵機が不要な外面塗装技術を開発した。

表 1 開発した主な要素技術

Table 1 List of Technical Development

工程	No.	開発した要素技術 (赤字:本論文で報告)	狙い	(参考)現状
加工・鉄部検査	1	水圧試験代替検査技術	ラインのコンパクト化	水圧試験
	2	簡易な外面ブラスト処理方法	ラインのコンパクト化	インペラ方式
挿し口突部形成	3	簡易な挿し口突部形成技術	ラインのコンパクト化 材料費低減	リング圧入方式
	4	内面粉体塗装の管温調整方法	ラインのコンパクト化	予熱炉
内面粉体塗装	5	珪砂混合エポキシ樹脂粉体塗装	材料費低減	珪砂混合なし
	6	外面塗装の管温調整方法	ラインのコンパクト化	温水槽
外面塗装	7	集塵機レス外面塗装方法	ラインのコンパクト化	スプレー方式

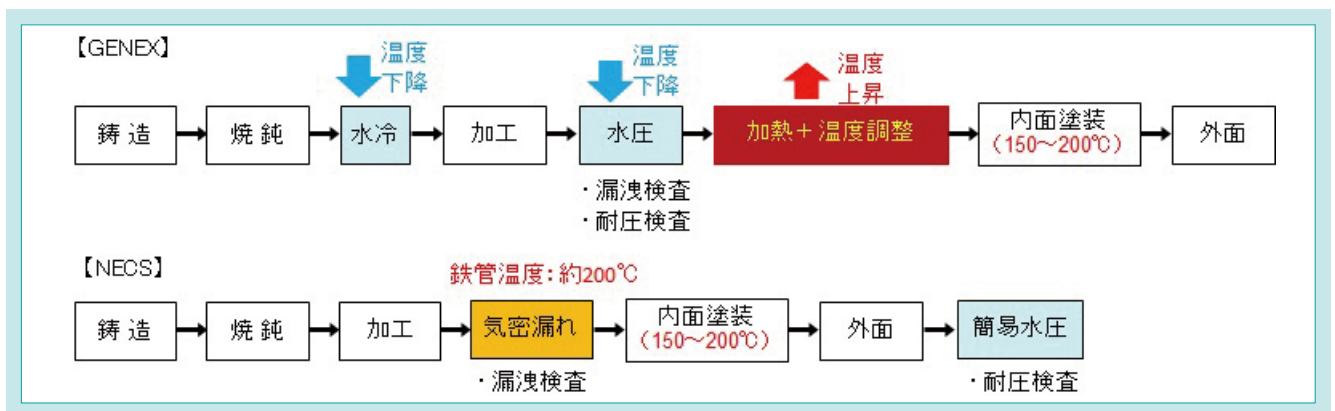


図 5 生産工程の比較

Fig. 5 Comparison of the Production Process

4. 開発技術

4-1 水圧試験の代替検査技術の開発

4.1.1 代替検査技術の選定

4種類の水圧試験²⁾の代替方法について、300°Cの鉄管を用いた基礎テストを行った。その結果を表2に示す。検査精度、材料費、設備費ともに高評価であった、No.1のHeリーク(管内真空)

方式を採用した。

4.1.2 気密漏れ試験装置の開発

Heリーク(管内真空)方式による気密漏れ試験装置を開発した(図6)。本試験装置は、耐熱ゴムで挟み込んだ鉄管内を真空

にした後、鉄管外周を簡易な耐熱性のフードで覆い、そのフード内を高濃度のHeガス雰囲気にし、鉄管内のHe漏れ量を検知器で測定する構造である。

図7に水圧試験と気密漏れ試験の相関を示す。当初、受挿し

パッキンからのHeの入り込みによりHe漏れ量がばらつき、必要な測定精度が得られなかった。そこで、受挿しシール部をボックスで覆い、ボックス内にエアを吹込むことにより、シール部からのHeの入り込みを抑制し、誤判定をなくすことができた(図8)

表 2 水圧試験代替検査方法の基礎テスト結果
Table 2 Comparison Test Results of Leak Test Methods

No.	検査機器	試験方法			評価結果		
		管内	管外	測定項目	検査精度	材料費	設備費
1	Heディテクター	真空	He	管内に漏れたHe量	○	○	○
2	Heディテクター	He(加圧)	大気	管外に漏れたHe量	○	×	×
3	超音波検出器	空気(加圧)	大気	管外への空気漏れで生じた超音波	×	—	—
4	サーモグラフィ	空気(加圧)	大気	管外への空気漏れで生じた管の温度差	×	—	—

赤字: 採用した方式、評価結果(○: 目標達成、×: 目標未達)

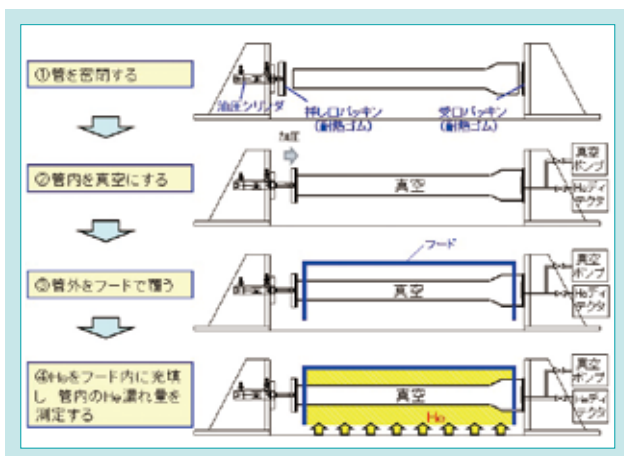


図 6 気密漏れ試験
Fig. 6 Leak Test Machine

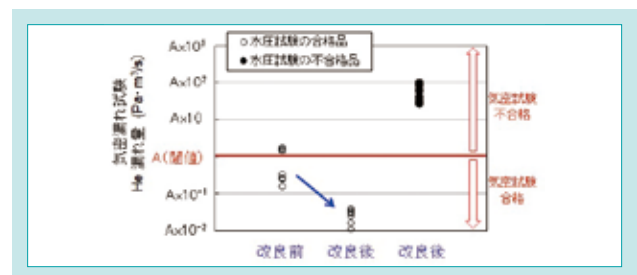


図 7 水圧試験と気密漏れ試験の相関
Fig. 7 Correlation of the Hydraulic Pressure Test and Leak Test

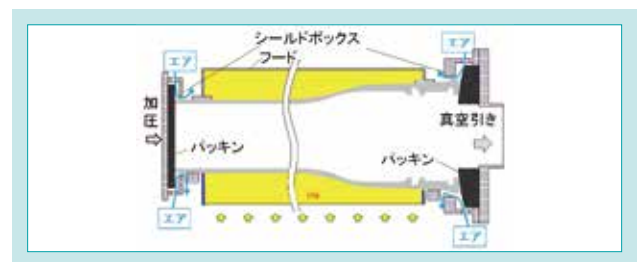


図 8 気密漏れ試験装置(改良後)
Fig. 8 Leak Test Machine after Improvement

4 - 2 簡易な挿し口突部形成技術の開発

4.2.1 製品仕様及び生産工程の変更

現行の生産ライン(GENEX)の挿し口突部形成はリング材を圧入リング材と鉄管を溶接により一体化した後、加工して仕上げる。NECSはリング材を使わず、溶接ビードのみで挿し口突部を形成する方法とした(図9)。ただし、GENEXと同等の耐震性能を維持するため、図10に示す寸法(高さ、幅、角度 θ_1 、 θ_2)を規定した。

4.2.2 溶接条件の検討

鉄管(ダクタイル鋳鉄)は軟鋼用溶接ワイヤで溶接すると溶接部が脆くなるため、高価なNi合金ワイヤ(軟鋼用ワイヤの約10倍の価格)を使用する。材料費低減のため、前述の寸法規定を満足しつつ加工代を最小限にする溶接条件(溶接トーチ位置、溶接電流、溶接電圧)を決定した。

ただし、角度 θ_2 については、無加工で確実に寸法規定を満足することが困難であったため、簡易な溶接ビード加工装置を

開発した。

4.2.3 簡易な溶接ビード加工装置の開発

現行の生産ライン(GENEX)の加工装置は、フェーシング旋盤であり、バイスによる鉄管の固定が必要になる等、装置が大規模かつ複雑である(図11)。そこで、NECSの溶接ビード加工専用の加工装置(設備費は現行の約1/6)を製作した。本加工装置は、鉄管を押しえローラで押さえながら回転させた状態で切削バイトを当て研削する構造であり、加工しながら2次元レーザ変位計でビード高さの計測を行い、バイト送り量を自動制御する(図12)。溶接ビード位置のバラツキに対応するため、図13に示す加工フローとした。

4.2.4 挿し口部の製品形状

図14に挿し口部の製品形状を示す。前述の対策により、GENEXと同等の耐震性能を満し、かつ、挿し口突部形成の材料費を大幅に削減することができた。

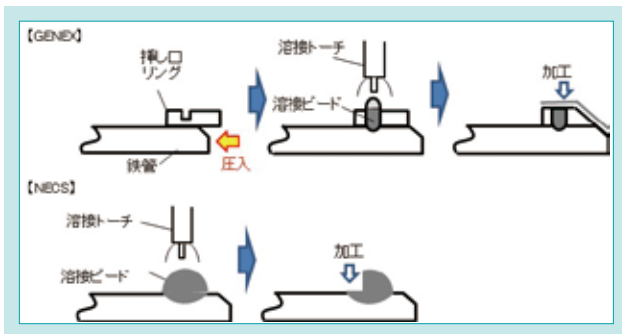


図9 挿し口突部形成方法
Fig. 9 Method of Making a Spigot Projection

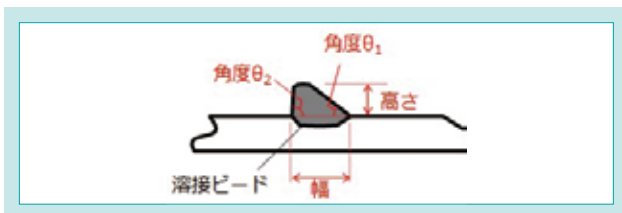


図10 挿し口突部の寸法規定 (NECS)
Fig. 10 Specified Dimensions of Spigot Projection (NECS)

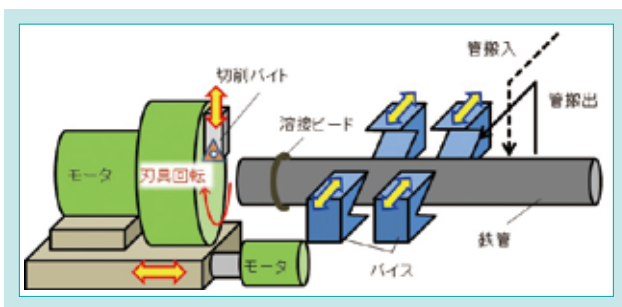


図11 挿し口突部の加工装置 (GENEX)
Fig. 11 Processing Machine for Spigot Projection (GENEX)

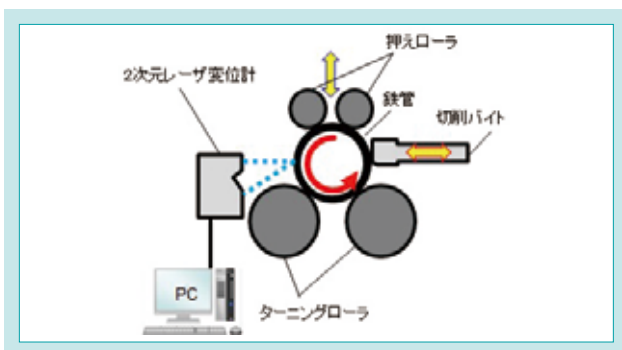


図12 挿し口突部の加工装置 (NECS)
Fig. 12 Processing Machine for Spigot Projection (NECS)

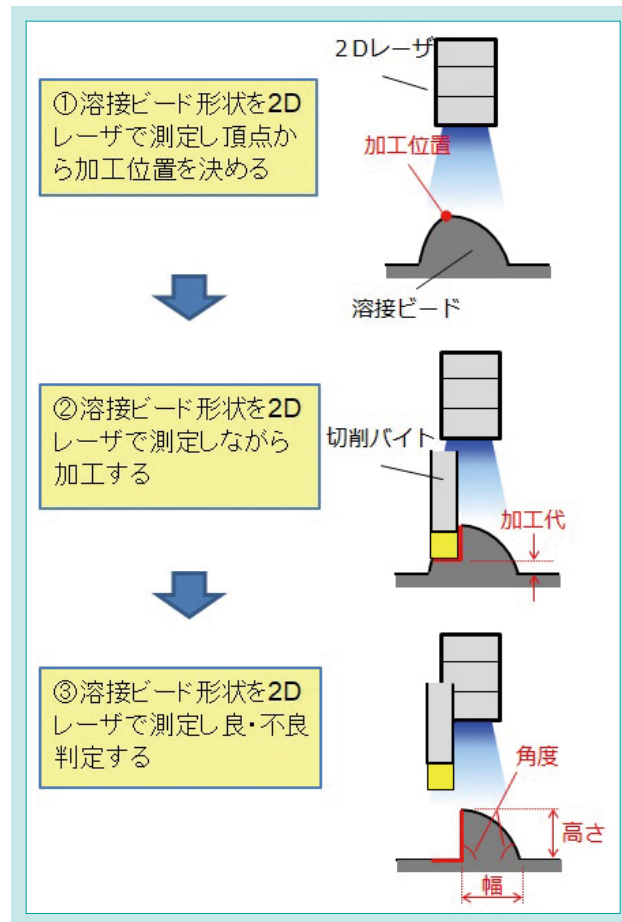


図13 加工フロー (NECS)
Fig. 13 Flow of the Processing for Weld Beads (NECS)

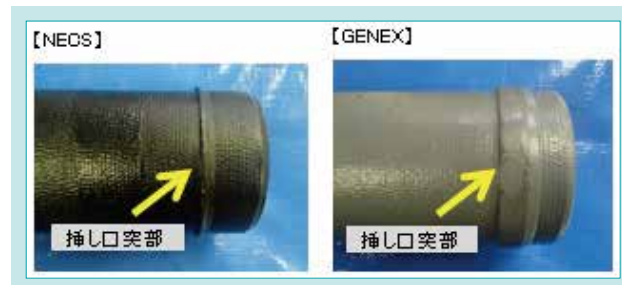


図14 挿し口部の製品形状
Fig. 14 Product Form of Spigot Projection

4-3 焼鈍余熱を利用した内外面塗装技術の開発

4.3.1 簡易な温度調整装置の開発

鍛造された鉄管は材質調整のため焼鈍されるが、焼鈍炉をでた鉄管は内面塗装を行うまでに前処理工程を行いつつ自然冷却される。その中で、受口は管厚が厚く熱が放散しにくく、挿し口は前処理工程の影響で冷却されやすい、という理由から、受口、挿し口と直部に温度差が発生する。そのため、焼鈍余熱を利用するものの、管軸方向での管温の均一化が必要である。そ

こで、簡易な温度調整装置を開発した。本装置は、放射温度計で管軸方向を測定し、加熱量を調整する構造である(図15)。

管軸方向の温度差に対応するため、直部加熱用のラインバーナに、受口、挿し口用の補助バーナを追加することで、最適な管温に調整することができた。

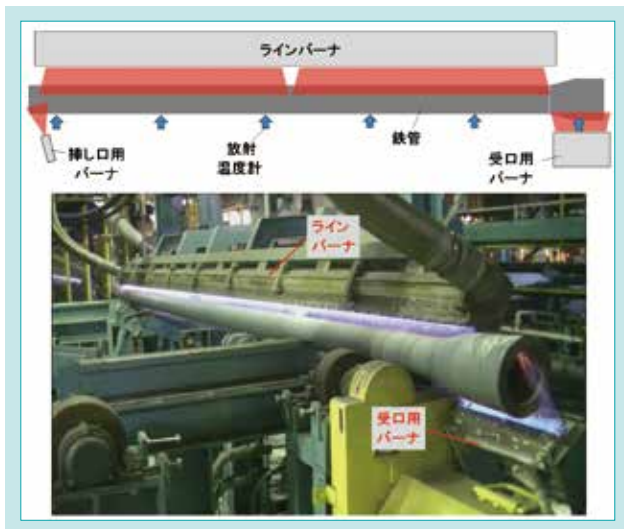


図 15 鉄管温度調整装置

Fig. 15 Pipe Temperature Adjustment Machine

4.3.2 簡易な外面塗装装置の開発

現行の生産ライン(GENEX)の外面塗装機は塗装スプレーが管軸方向に移動する方式であるが、塗料吐出時にミスト化するため、局所排気設備や専用ブースなどの付帯設備が必要となる(図16)。そこで、設備面積削減のため、集塵設備が不要な滴下方式の外面塗装装置を開発した。本装置は、鉄管を回転させながら塗装機が管軸方向に移動する方式で、塗装機には移動方向の前方に塗装ノズル、後方にエアノズルを配置し、塗装ノズルより塗料を管軸方向に直線的に滴下すると同時に、エアノズルで塗料をエアで押し広げる構造である(図17)。

塗料を滴下した箇所は局所的に塗膜が分厚く、らせん模様が目立つ場合が認められた。そこで、局所的な塗料の量を低減するために、①塗料の滴下パターンを幅広に変更する、②管の

回転数を上げる(スプレー塗装の約1.5倍)、等の対策を行うことで、らせん模様のない塗装外観を安定的に得ることができた。



図 16 外面塗装状況 (GENEX)

Fig. 16 Outer Coating Situation of GENEX

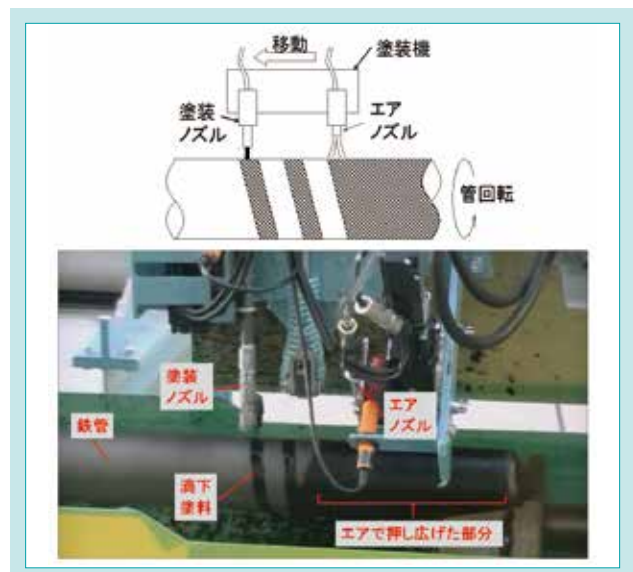


図 17 外面塗装装置 (NECS)

Fig. 17 Outer Coating Machine of NECS

5. おわりに

ラインの大幅なコンパクト化が可能となる、①水圧試験の代替検査技術、②挿し口突部形成技術、③内外面塗装技術、等のNECS生産方式の要素技術を開発した。また、それらの要素技術を盛り込んだNECSパイロットラインにおいて、目標(現行の生産ライン(GENEX)と比較し、ライン長を1/10に短縮、製造

リードタイムを1/30に短縮、エネルギー消費量を25%減少)を達成し、(社)日本水道協会による検査合格品を生産できた。

今後は、今回開発したNECS生産方式を、実ラインに展開する計画(京葉工場に設置予定)である。

SDGs のターゲットへの貢献

6.1 安全で安価な飲料水のアクセス強化 安価な水道管材の提供により上下水道インフラ整備に貢献

7.3 エネルギー効率の改善 焼鈍余熱を利用し塗装前の温調設備を廃止することによりエネルギー効率の改善に貢献

9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善

塗装前の温調設備の廃止によりCO₂発生量の削減が可能な生産プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善に貢献

参考文献

- 1) 伊東一也ほか:「低価格戦略耐震形ダクタイル鉄管「NECS」の開発」、クボタ技報、No.50、(2017)、pp.70~75
- 2) 日本工業規格JIS Z2330 (2012)

鋼管杭・鋼管矢板の新型機械式継手の開発（ラクニカンジョイント ステップ型）

Development of a New Mechanical Joint for Steel Pipe Piles and Steel Pipe Sheet Piles

市川工場

鋼管杭・鋼管矢板は、一般に複数本の鋼管を現場で溶接接合し、所定深度まで打設・埋設される。近年では、溶接接合の代わりに短時間で接合できる機械式継手が普及し始めている。機械式継手は短時間接合以外にも多くのメリットを有するが、従来品は溶接継手より高価であるため、ユーザーニーズとマッチしているとは言い難い状況であった。そこで、従来品から素材、加工方法及び構造を抜本的に見直すことで、ユーザーニーズにマッチした経済性の高い新型機械式継手を開発した。本開発により、海外案件で機械式継手が初めて採用されるなど、機械式継手の普及に大きく貢献した。

【キーワード】

基礎杭，鋼管杭，鋼管矢板，機械式継手，板巻き加工，焼なまし

Generally, steel pipe piles and steel pipe sheet piles are connected to each other by welding and buried to the bearing ground. Recently, mechanical joints have started to become widely used as a method of connecting steel pipe piles easily in a short time. A mechanical joint has some advantages in addition to speedy connection but since our conventional product is more expensive than welding, it doesn't meet the needs of our customers. Now, Kubota has improved the material, manufacturing method and structure of our conventional product to develop a new model mechanical joint which has low costs and meets the needs of customers. As a result of the present development, Kubota has succeeded in obtaining an order from overseas for mechanical joints for the first time and made a great contribution to the spread of mechanical joints.

【Key Word】

Pile Foundation, Steel Pipe Pile, Steel Pipe Sheet Pile, Mechanical Joint, Press Bending, Annealing

関連する SDGs



1. はじめに

鋼管杭・鋼管矢板は、耐震性、施工性に優れていることから、土木構造物(道路・鉄道橋梁、港湾施設など)や建築構造物(倉庫・マンションなど)の建設資材として広く使用されている。施工に際しては、工事現場に搬入された複数本の鋼管を溶接接合しながら、所定の深度まで打設・埋設するのが一般的である。この溶接接合(以下「溶接継手」という。)は安価であるものの、溶接部の品質は作業者の技量によるところが大きく、かつ、工事現場での作業となることから、作業環境・気象条

件などにも左右される。更に、品質管理においても、溶接継手では厳格な管理が必要となる。

また、近年では、従来に比べて、より大径・厚板の鋼管杭・鋼管矢板が採用される傾向にある。そのため、溶接接合及び品質管理に要する時間も増大してきており、施工全体の時間短縮が求められている。

これに加え、施工に熟練した作業者(特に溶接作業)の不足、都市圏を中心としたインフラ更新工事の増加等により、省

人・省スペース・省時間・低コストの施工技術も求められるようになってきている。

鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手は、これらのニーズに対応するために開発された。特にクボタ製品であるラクニカンジョイントは、ピン継手と呼ばれるオス側の継手にボックス継手と呼ばれるメス側の継手を被せ、ボックス継手に格納されている荷重伝達キーを押し出すことで容易かつ短時間で接合が可能である(図1)。しかし、機械式継手は溶接継手よりも高価であるため、時間的な制約のある夜間工事(例えば、最終列車の発車後から始発列車の発車前までの時間内に工事を完了させる必要のある鉄道工事など)や施工スペースに制約のある橋桁下での工事(例えば、都市高速道の橋桁下の極端に狭い道路工事)といった特殊な市場(以下「特殊市場」という。)での採用に留まっていた。

機械式継手の更なる普及のためには、現状の特殊市場だけでなく、一般的な杭市場(以下「一般市場」という。)にも進出し、広く使用される必要があるが、そのためには、現行の機械

式継手を素材・構造から抜本的に見直し、圧倒的に低コストの新型機械式継手を開発する必要があった。

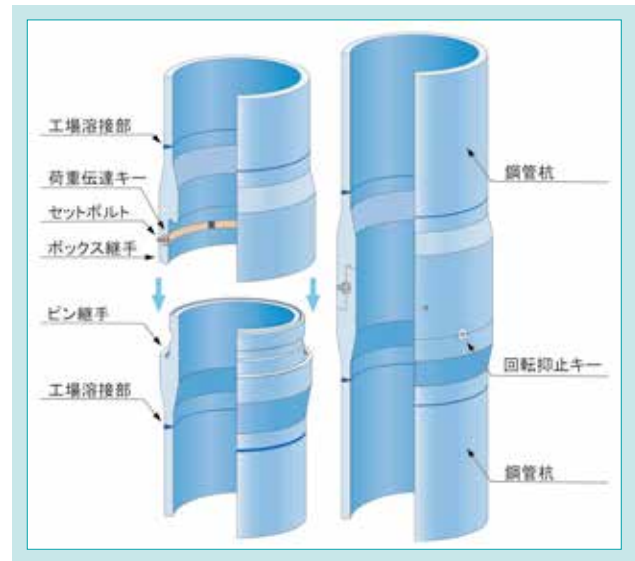


図1 機械式継手 (ラクニカンジョイント)
Fig. 1 Mechanical Joint (Laqnican Joint)

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

機械式継手は2000年より開発に着手し、2002年には初期型を上市した。その後もマイナーチェンジを重ねてコストダウンを図ってきたが、更なる普及には大幅なコストダウンが必要であった。そのために機械式継手の素材・加工方法並びに構造の全てを抜本的に見直すこととした。具体的には、機械式継手の製造工程(図2)において、使用する素

材、リング形状への加工方法、熱処理方法及び切削加工方法を見直した。更に機械式継手の細部構造に改良を加えることにより、機械式継手自体の軽量化を図り、大幅なコストダウンを実現することを目指した。



図2 機械式継手の製造工程
Fig. 2 Manufacturing Process of a Mechanical Joint

2-2 目標値

機械式継手を更に普及させるためには、一般市場での溶接継手を機械式継手に置き換えることが必要である。それには、総合的なコストが溶接継手と同等となるまで、機械式継手をコストダウンしなければならない。総合的なコストとは、継手の製造コストと工事現場での接合に要するコストであるが、特に機械式継手では施工期間短縮に

よる工事現場でのコストダウンが可能である。この工事現場でのコストダウン効果を加味すると機械式継手は従来品から50%の製造コストダウンで溶接継手と同等となる。

(目標値) 従来品に対して50%の製造コストダウン

3. 解決すべき技術課題

3-1 業界初の板巻きリング材による機械式継手の製造

従来品の機械式継手では、国内において特殊鋼を熱間鍛造でリング状に成型した素材(以下「鍛造リング材」という。)を使用していたが、特殊な素材であるがゆえに、調達性とコストに課題があった。そこで、本開発では広く国内外からの素材調達を可能とするため、より一般的な加工方法である板巻き加工で製造した鋼管(以下「板巻きリング材」という。)の採用を試みた。板巻きリング材を機械式継手の素材に用いるのはクボタが業界で最初である。板巻きリング材は、平鋼板を一軸プレス機で円筒状に成型し、端部を

溶接することで製造される(図3)。しかし、機械式継手の素材として使用される板巻きリング材は、通常の鋼管に比べて外径の割に板厚が厚く、高強度であるため、成型の際に大きなひずみがリング内部に残る。これを機械切削すると、内部応力が解放されるため、変形が生じて機械式継手の仕上がり寸法にばらつきが生じやすい。特に機械式継手は施工現場で機械的に噛み合わせて接合されるため高い寸法精度が求められている。そのため、いかにして残留応力を低減し、寸法精度を確保するかが課題となる。

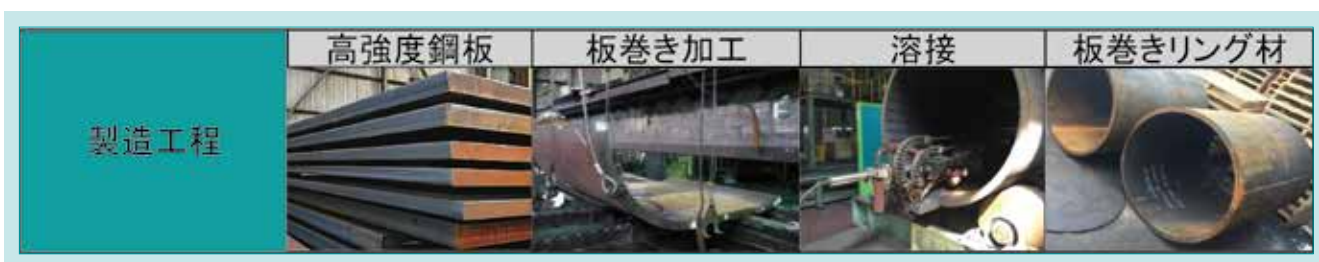


図3 板巻きリング材の製造工程
Fig. 3 Manufacturing Process of a Straight Seam Pipe

3-2 機械式継手の軽量化

従来品の機械式継手では、継手細部の変形や負荷が完全に解明されていなかったため、必要以上に安全性を考慮して設計されており、継手は長く厚くなっていた。そのため、機械式継手を軽量化するためには、細部構造の応力発生メカニズム解明と形状の適正化が課題となる。

機械式継手は、引張力が働いた場合、荷重伝達キーを介して力が伝達する(図4)。そのため、機械式継手の設計では、荷重伝達部周辺の設計が非常に重要となり、特に機械式継手を薄くして軽量化を図るためには、①凹断面の厚さと②荷重伝達キーの厚さに係る設計方法を再構築する必要がある(図5)。

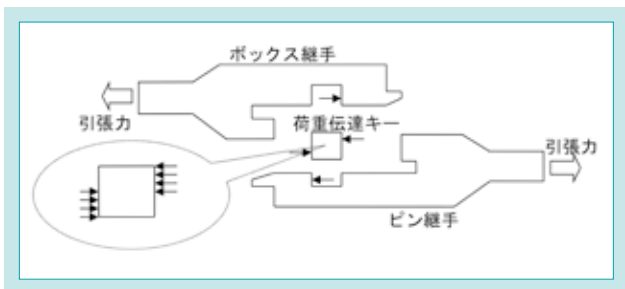


図4 機械式継手の力の伝達構造
Fig. 4 Force Transfer Mechanism of a Mechanical Joint

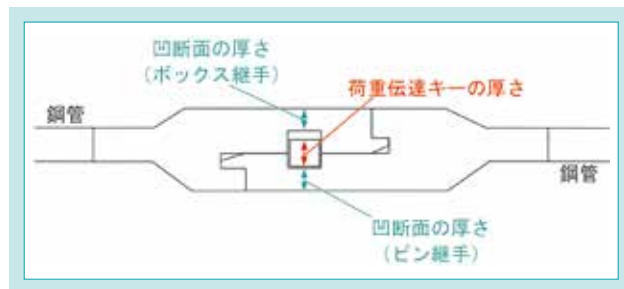


図5 設計変更箇所
Fig. 5 Design Review Section

3-3 機械式継手としての必要性能の確保

新型機械式継手は、板巻きリング材で製造され、かつ、薄肉・軽量化されるため、実際に機械式継手としての性能を有するかを確認する必要がある。機械式継手は鋼管杭・鋼管矢板本体と工場にて溶接取付けされ、鋼管杭・鋼管

矢板の一部として使用されるため、機械式継手には鋼管杭・鋼管矢板本体に対して同等以上の強度が求められる。この強度が確保できるか否かが課題となる。

4. 開発技術

4-1 残留応力の小さい板巻きリング材の開発

板巻きリング材の残留応力を低減させるために焼なましの実施を検討した。焼なましは組織を軟化させるため、残留応力の低減には効果があるが、同時に素材の引張強度も低下させる可能性がある。そこで、事前に要素試験を行い、引張強度を低下させない適切な焼なまし温度を確認した。試験結果より、600°Cまでは強度低下しないことが確認できたため、これを焼なましの上限温度とした。

焼なましの実施により、機械加工の仕上り寸法の精度が保てる範囲まで残留応力が低減されたかを確認した。焼なまし温度を変化させた板巻きリング材で切削加工を

施し、外径仕上り寸法のばらつき $D_{max}-D_{min}$ (以下「真円度」という。)を確認した(図6)。仕上り寸法は、600°Cで焼なましを行ったもので真円度が許容値内に納まり、焼なましを実施することで、機械式継手の素材として板巻きリング材が適用可能であることがわかった。

また、参考までに焼なましにより残留応力がどの程度低減したか残留応力の数値化を試みた。X線応力測定法で熱処理前後の残留応力を計測し、残留応力が焼なましで低減されていることを確認した(図7)。

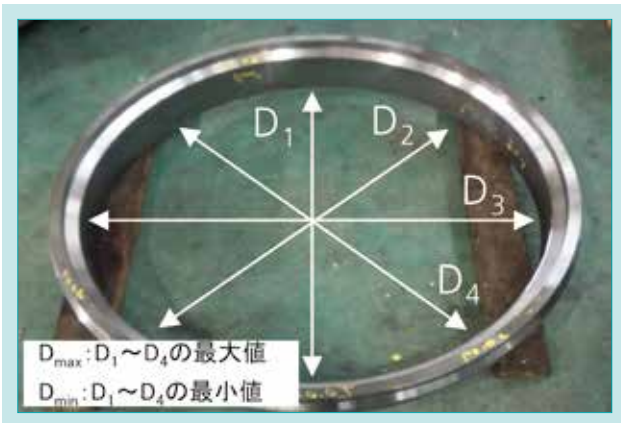


図6 真円度の測定位置

Fig. 6 Measurement Position of Roundness

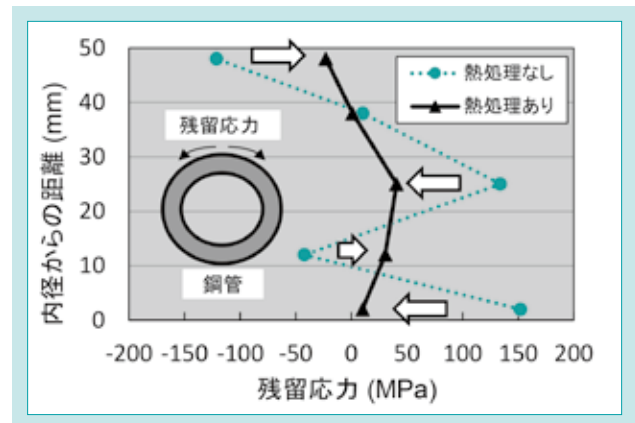


図7 焼なましによる残留応力の低減

Fig. 7 Stress Relief by Annealing

4-2 従来品と同等の性能を有する機械式継手の新構造

4.2.1 凹断面の薄肉化

凹断面では急激な断面変化があるため、応力集中が生じて破壊しやすい(図8)。そのため、応力集中係数を1.25として従来品の板厚は設計されている。そこで本開発では、局所的な応力集中を緩和させるために、溝部の曲率を変更することとした。その際、繰り返し数値解析を実施することで、最適な曲率半径を決定した。

また、度重なる実験と解析の結果から、機械式継手のピン継手(オス側)とボックス継手(メス側)のうち、ピン継手の方が局所的な変形が大きいことが判明した。そこで、荷重伝達キーの溝の位置を変更することで、ピン継手の局所的な負荷を軽減させた。

これらの構造変更により、凹断面の厚さは応力集中係数を1.1として設計することが可能になった。

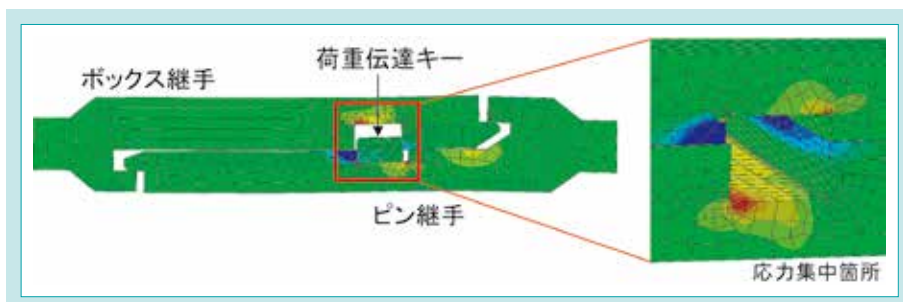


図8 機械式継手の応力集中部

Fig. 8 Stress Concentration Zone of a Mechanical Joint

4.2.2 荷重伝達キーの薄肉化

機械式継手の中には、荷重伝達キーが埋め込まれているため、荷重伝達キーの厚さを薄くすれば、同時に機械式継手全体の厚さも薄くなる。荷重伝達キーの厚さは、継手本体と荷重伝達キーが接触する面積(以下「支圧面積」という。)がどの程度必要なのかで決まる。

しかし、従来の機械式継手ではどの程度の支圧面積で

十分なのかを判断するための知見がなかったことから、過去の慣例をもとに設計されていた。そこで、荷重伝達部を模擬した要素試験を繰り返し実施し、その要素試験結果と数値解析結果をもとに支圧破壊のメカニズムの解明を図った(図9)。支圧面積を見直した結果、荷重伝達キーの厚さを従来の0.8倍へ変更可能と判断した。

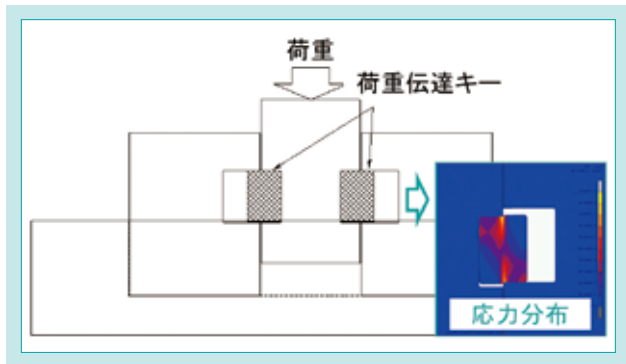


図9 荷重伝達キーの支圧試験

Fig. 9 Bearing Pressure Test of the Load Transfer Key

4-3 新型機械式継手の保有性能

実際に、板巻きリング材を使用して軽量化設計した機械式継手を製造し、性能評価を行った。その際、機械式継手

には、鋼管杭・鋼管矢板本体と同等以上の性能を有することが求められている。

4.3.1 曲げ荷重に対する機械式継手の性能

実大サイズにて、機械式継手と鋼管杭本体に同等の曲げ荷重を加えることができる4点曲げ試験を実施し、機械式継手と鋼管杭本体の曲げ強度を比較した(図10)。曲げ試験の結果、鋼管杭本体の破壊荷重以上の曲げ荷重を

載荷したが、機械式継手には変形や損傷は確認されず、健全であった(図11)。このことから、新型機械式継手は鋼管杭本体と同等以上の曲げ強度を有することが確認された。

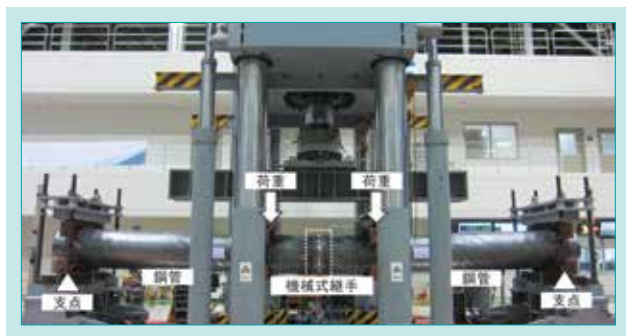


図10 機械式継手の曲げ試験(1)

Fig. 10 Four Point Bending Test of Mechanical Joint(1)

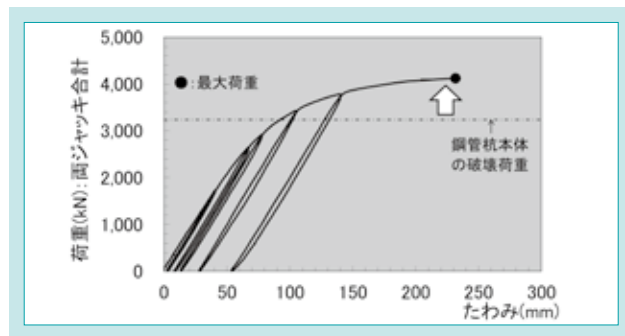


図11 機械式継手の曲げ試験(2)

Fig. 11 Four Point Bending Test of Mechanical Joint(2)

4.3.2 施工の衝撃力に対する機械式継手の性能

施工現場での鋼管杭・鋼管矢板の打設作業には、専用の施工機械である油圧ハンマー等が用いられる。その打撃によって鋼管杭・鋼管矢板は地中へ打設されるが、鋼管杭・鋼管矢板には繰り返し大きな衝撃力が加わるため、機械式継手はその衝撃力に耐えうるかを確認した。具体的には、実大サイズにて、機械式継手で接合した鋼管杭に油

圧ハンマーの衝撃力(最大エネルギー:282 kJ)を繰り返し与える実験を行った(図12)。通常の施工で加える打撃回数より大幅に多い2,000回以上の打撃を加えたが、鋼管杭は破壊したのに対し、機械式継手は健全であった(図13)。これにより、施工の衝撃力に対しても、新型機械式継手は鋼管杭本体と同等以上の強度を有することが確認された。



図 12 油圧ハンマーによる繰返し打撃試験

Fig. 12 Repeat Impact Test with a Hydraulic Hammer

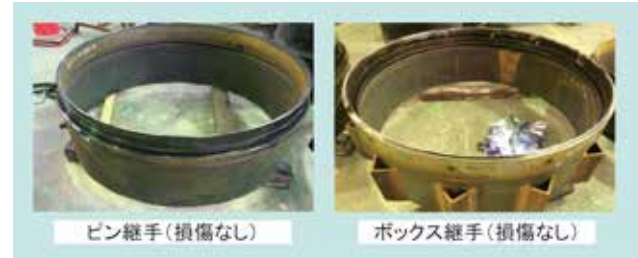


図 13 打撃試験後の機械式継手

Fig. 13 Mechanical Joint After a Repeat Impact Test

4-4 施工時の取外し機能の強化

鋼管杭・鋼管矢板の施工では、施工中に何らかのトラブルが発生した場合(例えば、夜間工事で規定時間内に施工が終わらなかったときなど)に、機械式継手を取り外す必要があり、近年では特にこの取外し機能へのニーズが高まっている。しかし、従来の機械式継手では鋼管杭・鋼管矢板を施工する際の衝撃力で、荷重伝達キーの出し入れを行うセットボルトが破損し、荷重伝達キーがボックス継手内部へ引き戻せないことがあった。そこで施工時の衝撃力がセットボルトに伝達しないよう、セットボルトを荷重伝達キーと噛み合わない構造へと変更した(図14)。

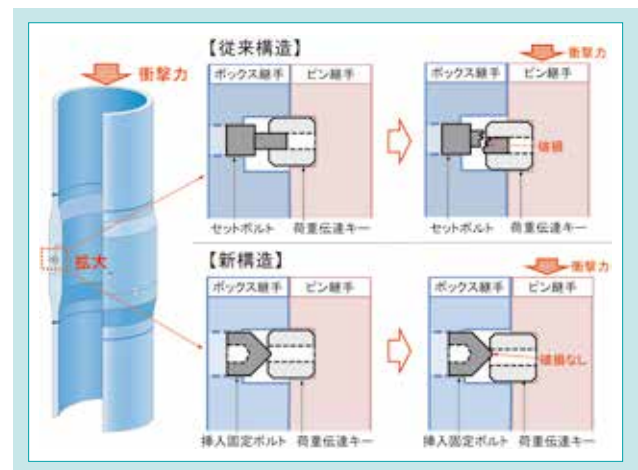


図 14 荷重伝達キー固定方法の改良

Fig. 14 Improvement of the Fixing Method

5. おわりに

2000年より開発に着手した機械式継手(ラクニカンジョイント)であるが、初代製品としては2002年に「フラット型」が上市された。以降、2006年には「1段型」、2011年には「ステップ型(旧型)」へとマイナーチェンジを行い、現在では高強度板巻きリング材を素材とした新型機械式継手(ラクニカンジョイント ステップ型)を上市するに至っている。

本新型機械式継手の開発においては、業界初となる板巻きリング材の実用化に成功し、目標コストダウン率50%を達成した。これにより、2002年当時に比べて約60~70%安価な製品を提供できることとなった。

また、官公需工事において新型機械式継手が採用されやすいように、公的認証機関で技術審査を受け、審査証明を取得した。

これに加え、海外案件(パプアニューギニア)で機械式継手が初採用されたこともあり、海外のインフラ整備に貢献できる道が開けた。

特に発展途上国では労働環境も日本国内に比較して決して良いとは言えず、この改善に対しても機械式継手は貢献できるものと期待する。

SDGs のターゲットへの貢献

8.8 安全・安心な労働環境の促進 施工性の向上により安全・安心な労働環境の促進に貢献

9.a 途上国へのインフラ開発の促進 世界15カ国以上で道路・鉄道等のインフラ整備に貢献

11.5 災害による死者・被災者の削減、経済的損失の減少 世界15カ国以上で水害・地震災害からの人命保護に貢献

雨水排水用立軸斜流ポンプの吸込渦抑制技術の開発

Development of a Surface and Submerged Vortex Preventing Technique in Pump Intake Sumps

水環境開発第一部

近年、都市化の進展やゲリラ豪雨の発生により、雨水排水機場には短時間で大量の雨水が流入するようになり、その排水能力を増強するニーズがある。一方で、既存の吸込水槽の形状・容量を変えずにポンプの排水量を増強すると、ポンプにとって有害な渦(空気吸込渦、水中渦)発生のおそれがある。従来は吸込水槽に渦を抑制するための土木構造物を設置してきたが、この対策は多額の工事費と日数を要する。国内の人口減少、財政問題といった制約条件のなか、ポンプ自体で渦を抑制する技術が注目され始めている。

本稿では、モデル試験及び流体解析を駆使した、独自のポンプ付帯の渦対策構造物(以下「対策物」という)の開発について報告する。

【キーワード】

集中豪雨、浸水防止、空気吸込渦、水中渦、立軸斜流ポンプ

Recently, with the development of urbanization and the occurrence of the torrential downpours, a great deal of rainwater starts to flow into a drainage pump station in a short time. And, there is a need for its drainage capacity to increase. On the other hand, increasing the draining capacity without changing the form and size of the existing suction sump means there is a risk that the harmful surface and submerged vortices occur. As a countermeasure, a splitter wall was installed in the past. But the problem was that this required a large amount of construction costs and days. So, we began to pay attention to the technology which prevents a vortex just by the installation of a pump with a certain structure, because of the population decline and shortage of financial resources in Japan.

In this paper, we report on the development of an original structure to attach to a pump in order to prevent vortices by using fundamental experiments and numerical fluid simulation.

【Key Word】

Torrential Downpour, Flood Prevention, Surface Vortex, Submerged Vortex, Vertical Mixed Flow Pump

関連する SDGs



1. はじめに

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第4次評価報告書において、①観測結果として、大雨の頻度は殆どの陸域で増加し、温暖化と大気中水蒸気量の増加に整合していること、②将来予測として、極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加する可能性が非常に高いこと、が報告されており、日本における時間降水量80mm以上の「猛烈な雨」の発生回数は、過去30年間で約1.7倍に増え、短時間の局地的豪雨(ゲリラ豪雨)の発生回数も過去5年間で約2割増加傾向となった(図1)。

その結果、時間降水量が現況施設能力を上回り、堤防決壊・氾濫、家屋の倒壊・流失等が増えている。これは、河川上流域及び閉



図1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数
Fig. 1 Annual Rainfall Days over 80mm / hour

発が進んだ都市部(平坦地)での共通の懸念である。

平坦地で、堤防内側の内水を強制排水するポンプ施設の概略構造を図2に示す。内水が流入する吸込水槽の形状は、ポンプが運転した際に有害な渦(空気吸込渦、水中渦)を生じぬよう設計されており、もし排水量を増強する場合、ポンプ吸込水槽の土木改修に伴う多額の工事費、降水量の少ない時季に流入を堰き止めての短期間工事等の問題があった。そこで解決策の一つとして、土木工事を伴わずポンプ自体で渦を抑制する技術が目ざされ、未だ少ないながら導入事例も出ている。これは、吸込水槽の物理的な流速限界(標準流量比30%増)に相当する。クボタでも更に有効な対策物を早急に開発し、水害対策へ貢献することが求められている。

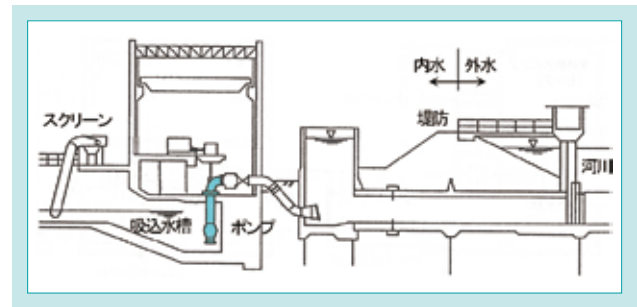


図2 ポンプ場の概略構造図

Fig. 2 Summary Structural Drawing of a Pump Station

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

既存吸込水槽の形状・容量を改修することなく雨水排水設備の排水能力を増強すると、水槽内の流速が高速になり空気吸込渦や水中渦が発生しやすくなる(図3左下)。このような渦をポンプが吸い込むと、振動や騒音の原因となり有害である。

従来は、水槽に土木構造物を設けて渦の発生を抑制してきた(図3右下)。

本開発では、ポンプ自体に対策物を付帯し、そのポンプを据付けるだけで有害渦の発生を抑制することを開発のコンセプトにおいた(図3右上)。

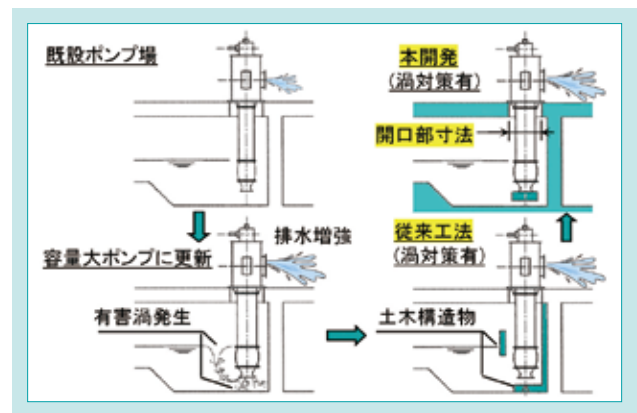


図3 従来技術と開発品(対策物)の説明図

Fig. 3 Prior Construction and Development

2-2 開発範囲と目標

吸込水槽形状は現地に応じ多様であり、画一的な対策を講じることは難しく、開発対象自体を定めがたい。

(1)そこで、国交省が監修し業界標準となっている「揚排水ポンプ設備設計指針(案)同解説」(以下「揚排水指針」という)を参照し、開発対象とする吸込水槽形状を特定した。揚排水指針の内、オープン形水槽の寸法を表1に示す。開発範囲は、表1に示す全範囲とした。理由は、自由表面を持ち、有害渦を生じやすい形式であるため。開発目標は、以下の通りとした。

- ①排水量30%増強時有害渦の発生を抑制すること。
- ②製品を付帯することによって新たな問題点が発生しないよう、信頼性を確保すること。
- ③土木工事不要にして従来工法よりも安全、短納期とし、大口径でも従来工法以下の価格を実現すること。

(2)開発範囲から外れる水槽形状については、
 ・頻出パターンの実験バックデータを取り揃える。
 ・多様な水槽形状で予測できる流体解析手法を確立することで、将来的には対策物(後述)による対応可否を判断できるようにする。

表1 揚排水指針の水槽寸法表

Table 1 Sump Sizes of the Major Design Guidance

吸込槽形式 流量範囲 (m³/s)	オープン形			
	W	F	H (φ口径)	G
0.20以上～ 0.38以下	1,200	450	400	600 以上
0.38～ 0.60以下	1,500	600	500	800 以上
0.60～ 0.83以下	1,800	700	600	900 以上
0.83～ 1.17以下	2,100	800	700	1,100 以上
1.17～ 1.50以下	2,400	900	800	1,200 以上
1.50～ 1.92以下	2,700	1,000	900	1,400 以上
1.92～ 2.50以下	3,000	1,100	1,000	1,500 以上
2.50～ 3.33以下	3,600	1,300	1,200	1,800 以上
3.33～ 4.25以下	4,050	1,500	1,350	2,100 以上
4.25～ 5.42以下	4,500	1,650	1,500	2,300 以上
5.42～ 6.67以下	4,950	1,800	1,650	2,500 以上
6.67～ 8.00以下	5,400	2,000	1,800	2,700 以上
8.00～ 10.00以下	6,000	2,200	2,000	3,100 以上

単位 mm

W: 吸込水槽の幅
 F: 吸込ベル中心から水槽後壁までの距離
 H: 吸込ベル下面と水槽底面との間隔
 G: 吸込ベル没水深さ

3. 解決すべき技術課題

(1) 排水量増強時の有害渦発生を抑制

排水量増強に伴い局所的な旋回流れが強まり、有害渦に発達する(図4)。ポンプを据付ける際に開口部(図3)を通過できるように外径を抑えること、旋回流れを弱めることの両立が課題である。

(2) 製品の信頼性

対策物を付けることで発生する以下の問題の解決に取り組む。

- ① ポンプ性能…排水流路内の抵抗となり性能低下。
- ② 振動…流体力を受けて運転中の振動値増大。
- ③ 締結ボルト脱落…振動によりボルト緩み発生。
- ④ 破損…振動や流体力を受け、対策物が破損。
- ⑤ ゴミ詰まり…紐状や柔らかいシート状のビニールなどが対策物へ絡みつき、流路を閉塞。

(3) 構造の小型化、簡素化

ポンプに取付ける機械構造物は土木構造物に比べて、大型化によるコスト上昇率が高い傾向にある。従って、できるだけ小さい寸法で効果を発揮させ、部品点数を抑えた簡素な構造にすることが課題である。

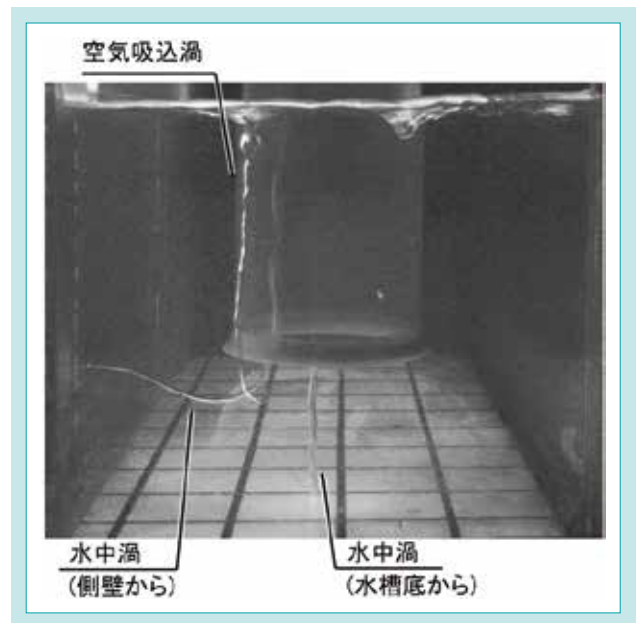


図4 模型試験による渦の再現写真
Fig. 1 Photo of Reproduction Vortexes by Experiment

4. 開発技術

4-1 排水量増強時の有害渦発生を抑制する技術開発

4.1.1 対策物の開発プロセス

空気吸込渦、水中渦のそれぞれに対し、より抑制効果の高い構造を考案するために、短期間で評価を繰り返す必要がある。そこで精度良く素早く試作できる3Dプリンタを活用した。また手早く部品交換できるサイズの小型模型水槽を構築し、その水槽内に立軸ポンプを模擬した吸込ベルを設置して、試作品を吸込ベルに取付け実験を行った(図5)。

ほぼ透明な渦の観察は難しいため、透明の水槽壁面越しに0.1秒間隔の高コントラスト写真撮影とビデオ撮影を行い、確認用の渦発生記録を残した。水面や水槽壁面から吸込ベルに到達する渦、又は到達に至らない渦の割合を写真記録から算出し、定量的に渦抑制効果を評価することで各構造の優劣を見極めることにした。

4.1.2 空気吸込渦の抑制技術

空気吸込渦はポンプや水槽コーナを回り込む流れなど流速分布の不均一が主要原因となり発生する。また吸込口と側壁及び後壁とを結ぶ循環¹⁾に誘起され、強い下向き流れが生じるところで旋回流が発達し、空気吸込渦へ成長する可能性が高い(図6)。この空気吸込渦へ成長する渦糸¹⁾は3次元的な曲率を持つため、不安定な要素が大きく渦糸の途中に僅かな攪乱が加わっても崩壊しやすい²⁾。



図5 小型模型水槽の実験装置
Fig. 5 Apparatus for Model Testing

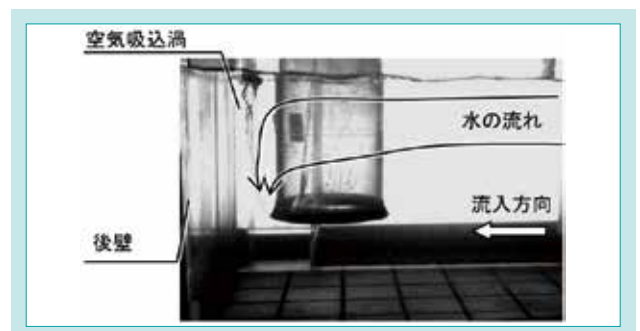


図6 後壁側の下向き流れイメージ
Fig. 6 Flow Image Behind the Pump

(1)方策1.渦糸の発生阻止

渦糸の経路上に障害物を配置することや、板材で渦糸の途中を乱すような水流を起こすことを検討した。この方法により空気吸込渦発生を抑制する効果が見られたものの、渦糸の経路上に障害物を配置したり、乱す流れを起こしたりするためには吸込ベルよりも高い位置に部品を配置する必要があり、複雑な形状となるため不採用とした。

(2)方策2.後壁流の抑制

渦糸の経路上ではなく吸込ベルより下側の後壁に對面する位置に半円筒の壁(半周壁)を配置し、水面近傍からポンプを回り込み、後壁側を下方へ流れ込む水流(後壁流)を抑制し後壁側の流速を下げることで、空気吸込渦への発達を抑制することにした(図7左)。

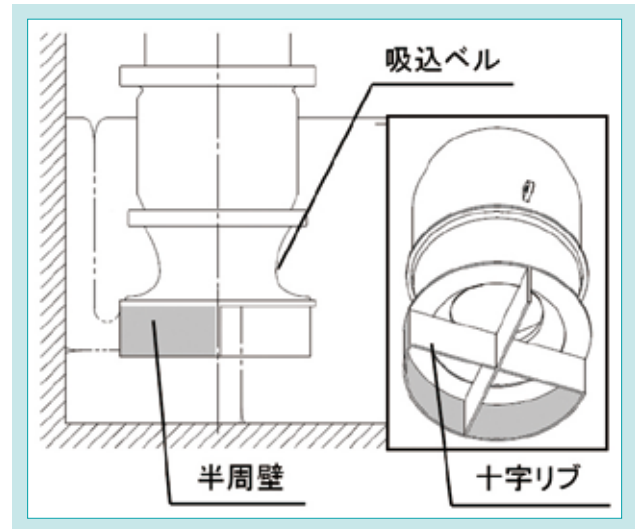


図7 対策物の構造説明

Fig. 7 Illustration of the Development Structure

4.1.3 水中渦の抑制技術

水中渦は、その一端を自由表面以外の境界(水槽底面や後壁、側壁)に有し、かつその渦芯の圧力は流体の飽和蒸気圧以下となる真空渦である。空気吸込渦と同様に流速分布の不均一が主原因となって発生し、飽和蒸気圧以下とならなくとも目に見えない渦そのものは水槽内に存在する。ポンプに及ぼす影響は渦が目に見える状態か否かで大きく異なる。水中渦による異常な振動や騒音は、インペラが水中渦を切断しその衝撃で発生すると考えられており、目に見えない渦により異常な振動や騒音を誘起することはない³⁾。よって渦が目に見えない強度まで、吸込ベル周辺の旋回流れを弱めることが必要である。

(1)方策3.後壁流の抑制

吸込ベル周辺の旋回流れは、4.1.2(2)で述べた後壁流と流入側からの流れとによって励起されると考え、後壁流を抑制することにした(図7左)。

(2)方策4.水槽底面での旋回流れの抑制

吸込ベル直下に十字に交差する板材(十字リブ)を配置し(図7右)、大きく成長しようとする旋回流れに乱れを与え細分化する方法であり、従来の土木構造物による対策で、効果は実証済みである。但し、従来方式は十字リブを水槽底面に配置している一方、本開発の対策品はポンプ下部に配置するので、同等の効果を発揮できるリブ高さHを見極める必要がある。

4.1.4 検証結果

上記の方策に基づき図7の構成で半周壁高さと十字リブ高さの組合せを変えて、流体解析による検証と小型模型水槽による実験を進めた。

(1)流体解析の結果

空気吸込渦について、半周壁を設けることで狙い通りに後壁流の流速分布を改善できる計算結果を得た(図8)。また、

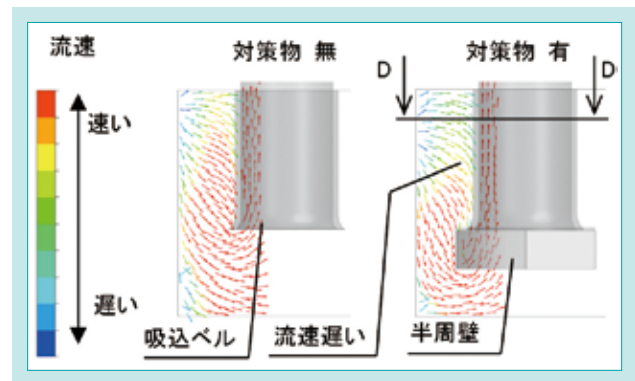
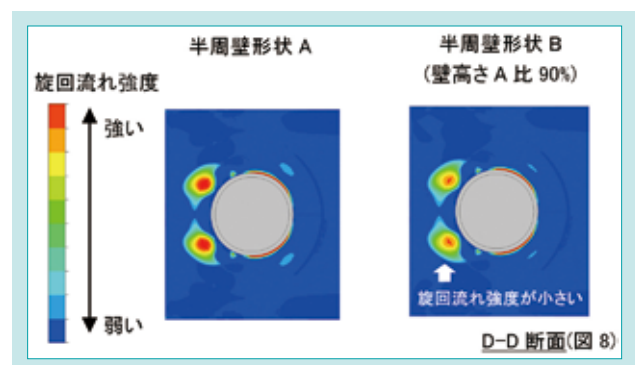


図8 渦対策有無による後壁側の流速比較

Fig. 8 Flow Rate Comparison Behind the Pump with the Development Structure and with No Structure

図9 半周壁高さが異なる2形状の旋回流れ強度の比較
Fig. 9 Swirl Rate Comparison in 2 Shapes Different in the Height of the Half Cylinder

渦の評価指標として、複雑な流れ場内でも渦を抽出しその強度を評価できる“旋回流れ強度”を用いた。図9(前頁)に半周壁高さの異なる2形状を比較した水面付近の旋回流れ強度コンタを示す。半周壁高さは、単純に高い程良い訳ではなく、低い形状Bの方が渦の旋回強度が低くなる計算結果を得た。

水中渦について、図10にリブ高さの異なる2形状を比較した底面付近の流速、旋回流れ強度コンタを示す。リブ高さが高い形状Aの方が吸込口近傍の流速及び旋回流れ強度が大きく、水中渦が発生しやすい計算結果を得た。

従って、半周壁、十字リブともに、単純に高い程良い訳ではないと分かった。

(2)小型模型水槽での実験結果

流体解析で半周壁高さとして十字リブ高さの最適な組合せ形状を求め、それ以外の形状も含め、実物の模型試験を行った。その結果、流体解析で得た最適形状が、実物でも良い結果となり、渦を抑制できる流量範囲も流体解析での結果と概ね一致した。

決定した最終寸法形状により、排水量30%増強まで空気吸込渦、水中渦とも発生しない目標を達成した。

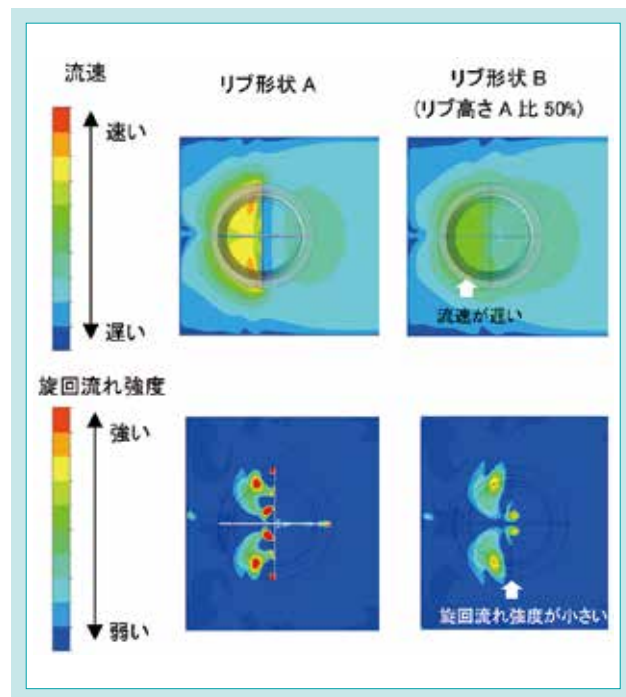


図 10 リブ高さが異なる 2 形状の流速、旋回流れ強度の比較
 Fig. 10 Current Velocity and Swirl Rate Comparison in 2 Shapes Different in the Height of the Rib

4 - 2 信頼性を確保する技術開発

流体的に相似形状である大小2つのポンプ(φ300mm、φ1,000mm)へ対策物を搭載して、信頼性を評価した(図11)。

①ポンプ性能(φ300mm、φ1,000mmで検証)

定格流量比0~150%の範囲で評価した。図12に、実線は対策物無しの場合、破線は有りの場合の結果を示す。開発範囲である定格流量比130%以下で両者に殆ど差は無く、性能低下させない目標を達成した。

一方、130%超の大流量領域では全揚程が若干低下した。その原因は、大流量側ほど、対策物が水流を妨げる影響が現れるためである。流体的に相似形状でないポンプについても検証した結果、比速度が大きいポンプほどこの傾向は強まった。将来、適用範囲を広げる場合は改良が必要である。

②振動(φ300mm、φ1,000mmで検証)

何れのポンプでも定格流量比100%で、対策物の有無による有意差はなかった。

③締結ボルト脱落、④破損(φ300mm、φ1,000mmで検証)

締結ボルトの緩みや、対策物の破損はなかった。

⑤ゴミ詰まり

汚水用途の立軸ポンプの知見を活かし、十字リブを幅広構造としてビニールや髪の毛などが何重にも絡みつくことを防ぎ、通過流路を広く取ってシート状の異物が流路を閉塞しないように構造を決定した。



図 11 実験ポンプと対策物
 Fig. 11 Test Pump and the Development Structure

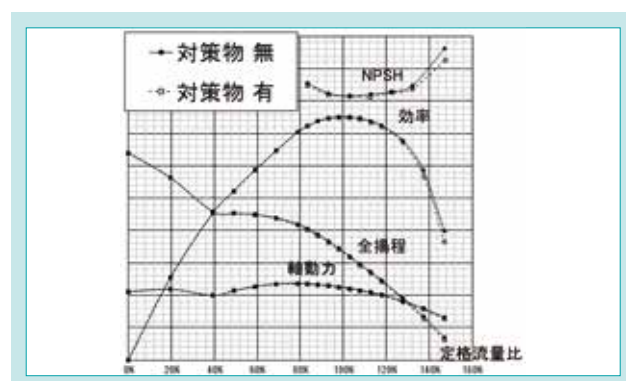


図 12 ポンプ性能に対する対策物有無の比較
 Fig. 12 Influence on the Pump Performance by the Development Structure

4-3 構造の小型化、簡素化の技術開発

4.1.2(1)で述べたように、渦糸の経路上に障害物を配置する案では、ポンプ本体の後付け部品として板材を二つ割りにするなど形状が複雑化し、価格上昇だけでなく各部品の確実な固定や強度の確保が難しくなる(図13左)。

そのため、渦抑制機能を検討する中で構造の小型化、簡素化及び信頼性の高い取付方法の検討を進め、半周壁及び十字リブを一体化した製缶部品(対策物)を吸込ベルに吊り下げる構造を採用した(図13右)。吊り下げ構造は立軸ポンプへのストレーナ取付で実績がある。また、部品点数を対策物と締結ボルトの2点に纏めたので、価格を従来工法以下とする開発目標を達成できただけでなく、設置工事を安全に早く行えることが期待される。

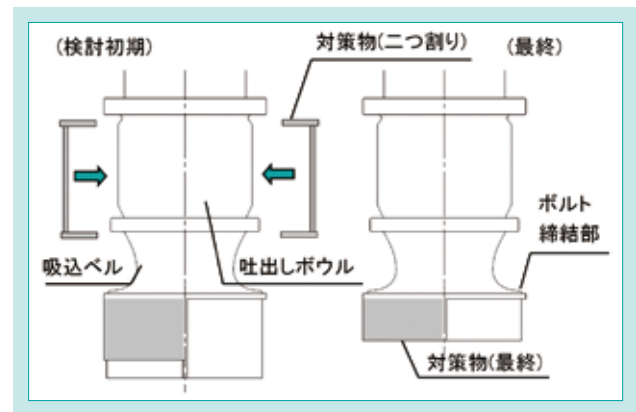


図 13 小型化、簡素化及び締結方法の検討
Fig. 13 Examination of Miniaturization, Simplification, and Fastening Method

5. おわりに

(1)本開発範囲において、以下の成果を得た。

- ①揚排水指針の吸込水槽形状において、同指針の排水量30%増強まで有害渦の発生を抑制できる対策物の構造、寸法を決定した。
- ②実機ポンプにより、ポンプ性能や振動への影響、破損やボルト緩みを検証し、製品化に支障はなかった。
- ③異物の絡みつき等を抑える構造とし、汚水の合流する雨水排水設備でも使用可能にした。
- ④対策物の構造を小型で簡素にすることで、競争力のある価格、納期を実現した。

(2)開発範囲から外れる水槽形状(例:図14)については、今後2-2に記載した(2)の方策を進める。今後本開発で構築した対策物を適用可能か都度判断できるように、実験および流体解析を行っていく。

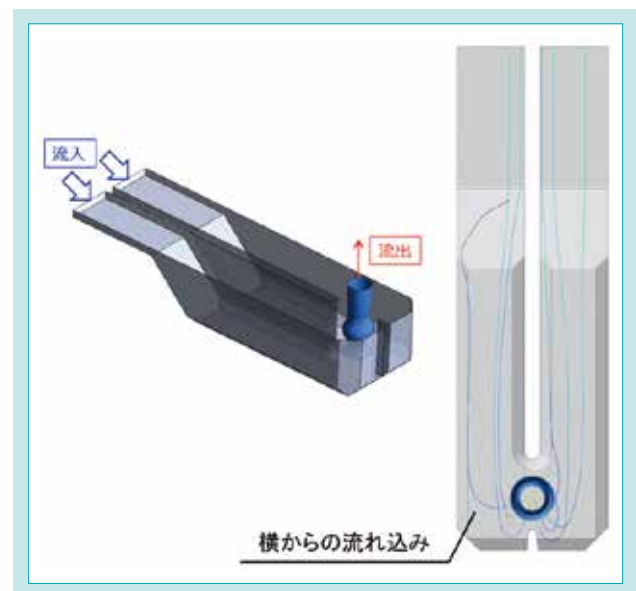


図 14 多様な吸込水槽形状のイメージ
Fig. 14 Example of Various Pump Sump Images

本開発品を活かして老朽化した雨水排水設備を増強し、集中豪雨による都市部の災害削減に貢献していきたい。

SDGs のターゲットへの貢献

- 9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 有害渦の発生抑制により排水量増強及び長寿命化に貢献
11.5 災害による死者・被災者の削減、経済的損失の減少 集中豪雨による都市部の災害削減
13.2 気候変動対策に関する政策の策定 インフラ整備計画(排水ポンプ場更新の仕様)に盛り込む

参考文献

- 1) 原田 幸夫:「流体の力学」、槇書店、(1959)、pp.69
- 2) 田籠 雅:「空気吸込渦の発生に及ぼす諸要因と渦防止方法」、ターボ機械、9-8、(1981)、pp.42~49
- 3) 山田 績:「ポンプ取水槽における水中渦現象」、ターボ機械、7-4、(1979)、pp.49~56

新コンパクト型空気調和機の開発

Development of a New Compact Air Handling Unit

クボタ空調(株) 研究開発部

近年、首都圏を中心に再開発プロジェクトが進行しており、オフィスビルや商業ビル向けのコンパクト型空気調和機の需要が堅調に伸びている。空気調和機に対する顧客要望として長寿命化やメンテナンスの容易性などが求められており、特にフレームの材料にSUSを指定するなど高防錆要求が高まっている。本開発では、空気調和機のフレームに複合皮膜を施したアルミニウムを採用することで防錆力を高め軽量化するとともに、組立式構造にすることでメンテナンスやリニューアルの容易性を図った。新構造の開発とともに、プラグファンの低騒音化、空気調和機の防露性能向上に取り組み性能も改善した。

【キーワード】

空気調和機、複合皮膜、アルミニウム、防錆、ファン、整流格子

These days, redevelopment building projects are progressing, mainly in the metropolitan area, and the demand for compact air handling unit for office buildings and commercial buildings is growing steadily. Long life and ease of maintenance etc. are required as part of customers' demand for air handling unit, and demand for high rust prevention such as designation of the SUS of frame material is particularly high. In this development, by adopting aluminum with a composite coating on the frame of the air conditioner, it is possible to increase the rust prevention ability, reduce weight, and make it easier for maintenance and renewal by adopting an assembly type structure. Simultaneously with the development of a new structure, we also worked to reduce the noise of plug fans and improve the anti-condensation performance of air handling unit, and the performance was also improved.

【Key Word】

Air Handling Unit, Composite Coating, Aluminum, Rust Prevention, Fan, Rectification Grid

関連する SDGs



1. はじめに

クボタ空調では、業務用空気調和機(以下空調機)の製造・販売事業を行っている。主にオフィスや空港などの大型施設、半導体や製薬などのクリーンルーム等で使用され、快適な生活空間や最適なモノづくり環境を提供している。

近年では、首都圏を中心とした再開発プロジェクトの進行や2020年のオリンピック開催に伴う関連施設の建設により、特にオフィスビル向けのコンパクト型空調機(図1)の需要は堅調に伸びている。



図1 コンパクト型空調機

Fig. 1 Compact Air Handling Unit

市場ニーズとして「ビルの長寿命化」という観点から、空調機本体の耐久性向上が求められている。特に空調機のフレームに対する耐久性要求として、塩害地区以外でもSUS304フレームを指定される物件が増えてきた。

また、お客様からはメンテナンスや部品交換、空調機のリニューアル時の作業の容易性を求めるご意見もあった。超高層ビ

ルなど大型の建物では空調機の台数も増えるため、メンテナンスやリニューアル作業の容易性・省力化は重要である。

これらの市場ニーズに対応するため、「次世代を見据えた新しい空調機」として新フレーム構造の空調機の開発に着手した。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

「次世代を見据えた新しい空調機」の開発着手にあたり、お客様へのヒアリングや現地調査を行なった結果、前述のとおり防錆力やメンテナンス性に対する意見を多く得た。そこで、右記の4項目をコンセプトに設定した。

- 1)フレームの高防錆化
- 2)組立式フレーム構造・軽量化
- 3)機能性の向上(プラグファン低騒音化、防露性能)
- 4)メンテナンス性の向上

2-2 目標値

1)フレームの高防錆化

現行機フレームは「形鋼溶接+カチオン電着塗装」を標準仕様としているが、近年では防錆を意識してSUS304フレーム指定の物件も多い。腐食に対する耐久性を向上させるためには、塩害地区で使用しても腐食が発生しにくい材質を標準仕様にする必要がある。そこで本開発機のフレーム材は空調機の使用環境においてSUS304同等の防錆力を確保することを目標とした。

2)組立式フレーム構造・軽量化

現行機のフレームは「形鋼溶接構造」としているが、メンテナンスによる部品単位での交換や、搬入制限があるリニューアル物件への容易な搬入を考慮して、組立式構造を目指した。また、現地組立時の施工性を考慮し、製品重量は20%低減を目標とした。

3-1)プラグファン低騒音化

プラグファンはモータ直結駆動で省エネ及びメンテナンスの省力化が可能だが、羽根枚数と回転数による羽根通過周波数成分の騒音が高い傾向がある。そこで特に高い値になる250Hz付近を中心に現行よりも低騒音にすることを目標とした。

3-2)防露性能の向上

現行機の約60%が防露対策仕様として断熱機能を追加しているため、本開発機では現行機における防露対策仕様と同等の防露性能を標準仕様にすることを目標とした。

4)メンテナンス性

長期運用とお客様によるメンテナンスを考慮し、特に定期的に作業が必要なフィルタ交換を容易にできる構造に取り組んだ。

3. 解決すべき技術課題

1)高防錆・メンテナンス性を考慮したフレームの選定

SUS同等の防錆力を有する材質の選定にあたり、塩害地区での使用を考慮した防錆評価が重要である。更に空調機を構成する部材は、使用箇所によって材質が異なるため、フレームと接触する部材や固定ビスなどの異種金属との接触による腐食がないことも課題となった。

また、現行機フレーム(カチオン電着塗装)の場合、キズや塗膜剥がれが腐食の原因になるため、定期的なメンテナンスが必要になる。そこで新フレーム材においても腐食リスクやメンテナンスの必要性を把握する必要があった。

2)シンプルな組立式フレーム構造と強度確保

現行フレームの形鋼溶接構造は強度を有し設計自由度もあるが、リニューアル物件等で搬入制限がある場合、分割が難しいケースがあった。更に溶接には量材が必要なため、認定された作業員しか作業ができなかった。そこで本開発機では、溶接レスで誰でも組立できるシンプルな構造の確立と、現行機同等の強度確保が課題となった。また、ヒアリングをもとにお客様目線でのメンテナンス性を考慮した構造検討に取り組んだ。

3)機能性の向上

プラグファンの低騒音化については、これまでの騒音試験により、ファン流入側の気流を整流することで羽根通過周波数成分が低減することがわかった。また、市場には流入側の気流を整えるための格子はあるが、お客様からメンテナンス時の安全性を考慮した形状にしてほしいとの要望があった。そこで安

全性に配慮し、ファン性能を低下させない形状の整流部材を開発する必要があった。

防露性能については、設置環境によって冷房時にはパネルビス及びパネル表面、本体の架台フレームで結露が発生するケースがあるため、これらの断熱性を高めることが課題となった。

4. 開発技術

4-1 防錆力を考慮したアルミフレームの品質評価

4.1.1 フレーム選定と課題

フレームには、建築用サッシ等で使用されているアルミ押し出しフレームを採用した。アルミニウム表面には、建築材として長期にわたる塩害地区での使用実績がある複合皮膜(アルマイト処理+クリア塗装)を施した(図2)。

アルミ押し出しフレームの採用理由として、材料自体の強度は低いが重量当たりの強度が高く、断面形状の工夫により必要な強度が確保できること、形鋼に比べ比重が軽いため製品の軽量化が図れることが挙げられる。

この複合皮膜付きのアルミ押し出しフレームの防錆力が、目標のSUS304と同等であることを評価試験により確認した。

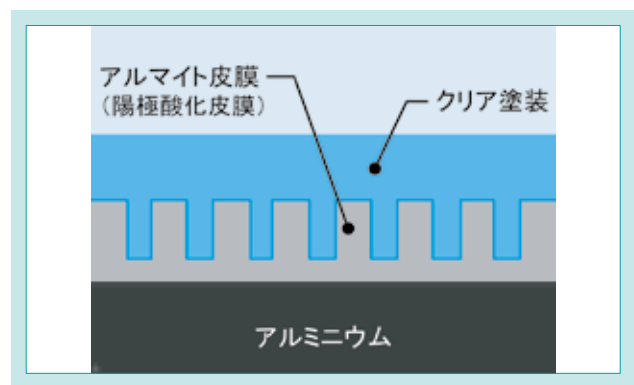


図2 複合皮膜
Fig. 2 Composite Coating Model

4.1.2 防錆力の品質評価

1)耐塩害試験(JRA9002に準拠)

試験方法は、試験片に海水濃度と同じ3.5%塩水を960hr連続噴霧した。試験片はアルミ複合皮膜のほか、比較対象としてアルミ封孔処理、SUS304、SUS430を用いて実施し、全ての試験片に素地に達するクロスカットを入れた。

その結果、全ての試験片に腐食等はなく、アルミ複合皮膜は耐重塩害仕様相当であることを確認した(表1)。

(50°C/95%RH、2hr)の条件を336hr繰り返した。試験片はアルミ複合皮膜のほか、アルミ封孔処理、SUS304、SUS430、SS400+塗装2度塗り(現行標準仕様)を実施、全ての試験片に素地に達するクロスカットを入れた。

その結果、アルミ複合皮膜の表面及びクロスカット部に白錆や塗膜剥がれ等の異常はなかった。また、比較対象であるSUS304はクロスカット部の一部に赤錆が発生、SUS430は板表面に赤錆が発生、SS400+塗装2回塗りはクロスカット部とその周辺に赤錆と塗膜膨れが発生した(表2)。本結果により、アルミ複合被膜はSUS304同等以上の防錆力を持つことを確認した。

表1 耐塩害試験結果
Table 1 Result of Salt Spray Test

項目	結果
1 アルミニウム(複合皮膜)	○ 腐食なし
2 アルミニウム(封孔処理)	○ 腐食なし
3 SUS304	○ 腐食なし
4 SUS430	○ 腐食なし

2)複合サイクル試験(JIS H 8502に準拠)

1)耐塩害試験よりも厳しい環境での腐食性を確認するため、複合サイクル試験を実施した。各試験片を装置に静置し、①5%塩水噴霧(35°C、2hr)→②乾燥(60°C、4hr)→③湿潤

表2 複合サイクル試験結果
Table 2 Result of Combined Cycle Test

項目	結果
1 アルミニウム(複合皮膜)	○ 腐食なし
2 アルミニウム(封孔処理)	○ 腐食なし
3 SUS304	△ クロスカット部に赤錆
4 SUS430	× 全体に赤錆
5 SS400(カチオン電着塗装)	△ クロスカット部に赤錆

一般論文 7

新コンパクト型空気調和機の開発

3)異種金属接触による腐食確認試験

フレームを除く空調機の構成部材(閉鎖板やビス等)において、熱交換器の凝縮水等の水と接触する箇所にはSUS304を採用している。そこで、異種金属接触(アルミフレーム、SUS304)による腐食の可能性について評価を実施した。

試験方法は、アルミ複合皮膜とSUS304の試験片を同じ水槽に浸漬し、アルミの最大電流値を計測し、腐食速度に換算して評価を行なった(図3)。試験液は上水と5%塩水の2種類とした。また、アルミニウム表面の複合皮膜による絶縁の有効性を確認するため、クロスカット有/無の2パターンを浸漬した。

試験の結果、上水中のアルミはクロスカットの有無に関わらず腐食速度は0.03 mm/y以下であり、一般的な空調機内環境での腐食リスクは少ないことを確認した。また、5%塩水中のクロスカット無のアルミでも腐食は認められなかった(表3)。

5%塩水中のクロスカット有の場合、腐食速度は0.52 mm/yとなり、腐食リスクがあることを確認した。そのため、熱交換器の凝縮水などと常時接触することが想定される箇所には複合皮膜に影響するビス止めなどが無い設計とすることで腐食リスクを回避した。

以上3つの評価項目により、アルミ複合被膜は空調機のフレームとして必要な防錆力を有していることを確認した。

4-2 組立式フレーム構造の検討

4.2.1 組立式フレーム構造の課題

アルミ押し出し材の採用により、軽量化が図れるとともに形状の設計自由度は高くなった。そこで、シンプルで容易に組立てできる構造を目指すとともに、輸送時や施工時、

4.2.2 解決策

フレームは強度を高めるとともに、組立作業やパッキン等の施工性を確保するため中空溝付きフレームにし、外形を構成するL字形のメインフレームと、閉鎖板等の取付けに使用するT字形の中間フレームの2種類とした。

また、断面形状が複雑なため、フレームの連結には特殊強化樹脂を採用したコーナーピースにフレームを差し込むシンプルな構造とした(図4)。

構造や強度の評価には、エアリークや漏水試験、輸送試験、ダクト接続や凹凸基礎など施工影響の確認、耐震試験など現行機同様の評価項目を実施した。特に耐震試験では阪神淡路大震災の波形で1.5 Gの水平震度でも問題ない強度を有していることを確認した。

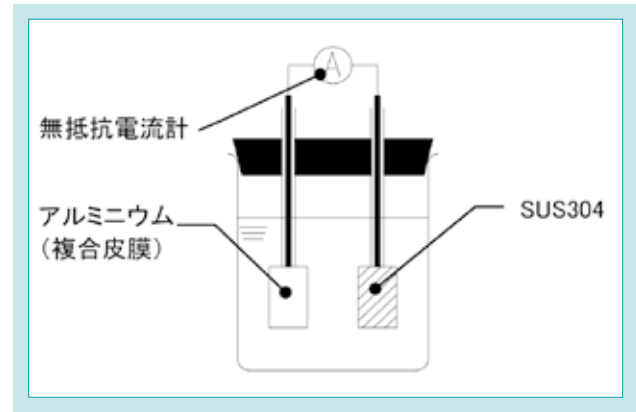


図3 腐食確認試験方法

Fig. 3 Test Equipment for Corrosion due to Dissimilar Metal Contact

表3 異種金属接触による腐食確認試験結果

Table 3 Result of Corrosion due to Dissimilar Metal Contact

	項目	試験水	電流値 [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	腐食速度 [mm/y]
1	アルミニウム(複合皮膜) vs SUS304	上水	0.00	0.00
2	アルミニウム(複合皮膜 クロスカット) vs SUS304	上水	3.10	0.03
3	アルミニウム(複合皮膜) vs SUS304	5%塩水	0.00	0.00
4	アルミニウム(複合皮膜 クロスカット) vs SUS304	5%塩水	48.20	0.52

設置後の地震などを考慮した本体強度の確保を主な課題とした。



図4 コンパクト型空調機の構造

Fig. 4 Structure of Compact Air Handling Unit

組立式構造の採用により、フレームの部材でも部品単位での交換が可能になり、リニューアル物件でも搬入や現地組立の容易性を確保した。また、フレーム重量は現行機より約60%低減し、製品重量も約25%低減することができた(図5)。



図5 コンパクト型空調機の部品一式
Fig. 5 Parts of Compact Air Handling Unit

4-3 品質向上

4.3.1 ファンガードによる低騒音化

プラグファンの低騒音化を図るため、メンテナンス時の安全ガードを兼ねたファン吸込み側ファンガード(整流格子)を開発した(図6)。

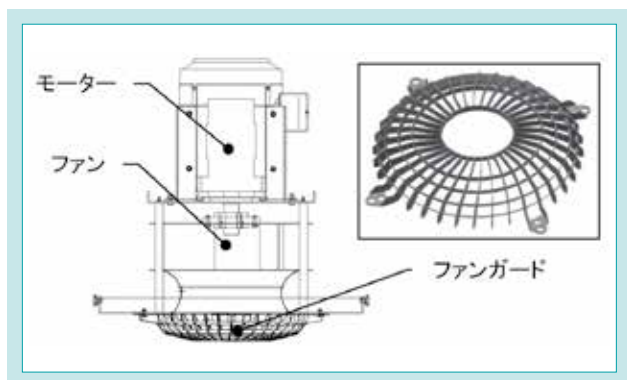


図6 ファンガード取付け
Fig. 6 Fan Guard Mounting Structure

形状検討では、ファンの性能低下がないよう流体解析と試験を併用して形状を決定した。ファンガードにより、羽根通過周波数成分で3~8 dBの騒音低減が図れた(図7)。

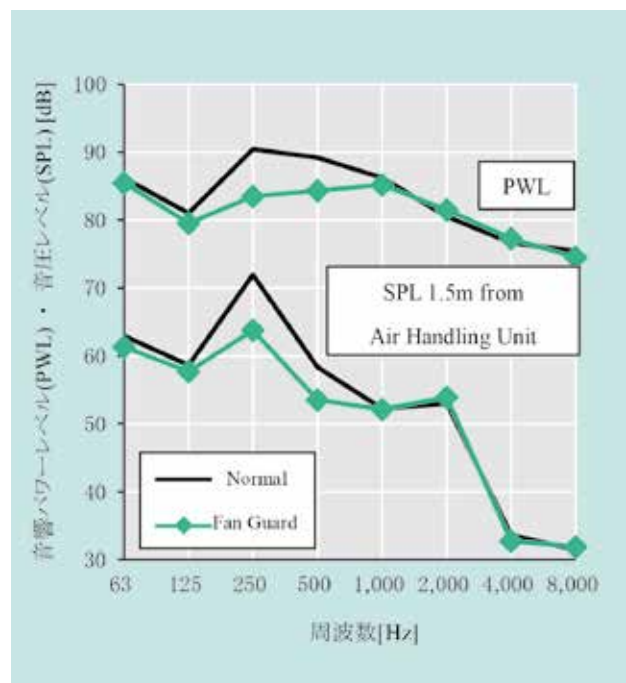


図7 騒音測定結果(12,806 m³/h 1,230 Pa)
Fig. 7 Measurement Example(12,806 m³/h 1,230 Pa)

4.3.2 防露性能向上

現行機では機械室の環境により、冷房時にパネル固定ビス及び架台フレームに結露が発生するケースがあるため、オプションで防露対策を実施している。アルミニウムは現行のSS400よりも熱伝導率が高く結露発生リスクがあるため、防露性能を向上させる必要があった。

本開発ではパネル固定ビスをパネル内部に埋め込み、キャップを取付けることで外皮にフレームからの熱が直接伝わらないようにしパネルの結露を防止した(図8)。

また架台フレームは、メインフレームとの間に樹脂プレート挿入することで機内からの熱伝導を低減し、架台フレームの結露を防止した(図9)。

機内温度が10°C、周囲環境温度が27°C/78%RHの結露試験条件でパネル表面及び架台フレームに結露の発生がないことを確認した。

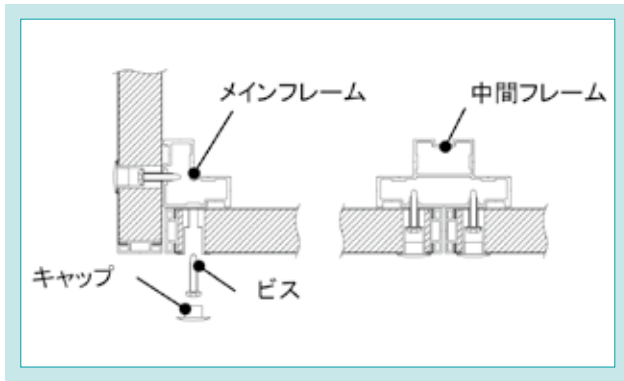


図 8 パネルの断熱

Fig. 8 Preventive Measures Against Dew Condensation of the Panel

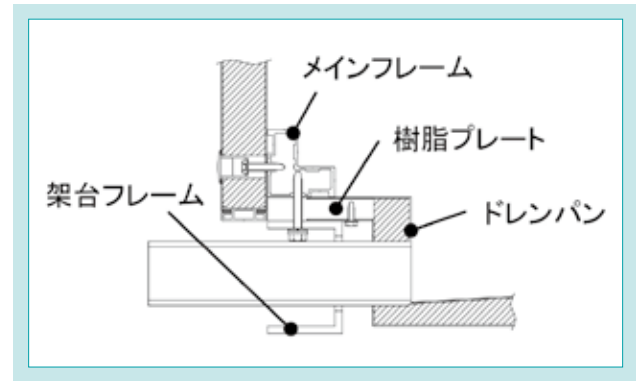


図 9 ドレンパンの断熱

Fig. 9 Preventive Measures Against Dew Condensation of the Drain Pan

4 - 4 メンテナンス性

内部構造は、メンテナンスが必要な箇所を重点的に見直した。特にフィルタは、定期的に洗浄や交換作業が発生するためフィルタを出し入れしやすい構造が求められていた。そこで本開発では、フィルタ装着部の気密性を高め、細かな異物が通過を防ぐよう周囲に隙間が発生しないことを目標に可動式のフィルタレールに設計変更した。メンテナンスやフィルタの交換時に、固定ピンを外せば開閉可能なレール構造なので、従来よりもフィルタの出し入れが容易になった(図10)。

その他、内部配管はお客様の点検が必要な二方弁をメンテナンス側になるよう配置変更を行った。

また、組立式構造により、フレームも含めた部品レベルで交換が可能となったため、継続的なメンテナンスによる長期運用が可能となり、空調機本体の耐用年数を長くすることが可能になった。

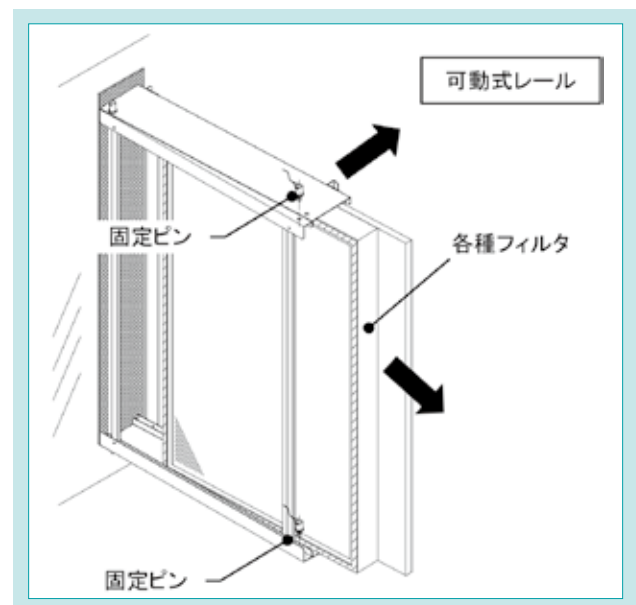


図 10 フィルタレールの構造

Fig. 10 Structure of Filter Rail

5. おわりに

新コンパクト型空調機は、複合皮膜付きアルミフレームの採用により、「SUS仕様同等の高防錆」と「フレーム重量で約60%、製品重量で約25%の軽量化」を達成することができた。また、組

立式構造により施工性、メンテナンス性を改善できた。展示会への出展やお客様見学会でも好評いただいております。今後は本構造のラインナップを拡充させていく。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 プラグファンの省エネルギーと生産エネルギーの削減

9.1 質の高い持続可能なかつ強靱なインフラの開発 快適空調環境の提供と空調機の耐久性改善

11.1 包摂的かつ持続可能な居住計画・感知能力の強化 快適空調環境の提供による住み続けられる街づくりへの貢献

管更生工法「EX工法」の施工性向上

Improvement of Workability in the EX Method (Pipe Rehabilitation Method)

(株)クボタケミックス 開発部 / (株)クボタケミックス 材料技術部

現在、47万km敷設されている下水道では、既設管の老朽化と頻発する大地震への備えが、市民生活を維持するための重要な課題の一つになっている。その有力な対応策として、非開削で既設の下水管を再構築する管更生工法が注目を浴び、2017年度には約605 kmの施工が行なわれている。この市場で(株)クボタケミックス(以下、クボタケミックス)は、呼び径400 mm以下を対象とした「EX工法」と、呼び径800 mm以上を対象とした「ダンビー工法」を上市している。

本報は、EX工法普及のための施工性向上の技術開発について報告する。

【キーワード】

下水道、管更生、老朽化、耐震化、非開削、硬質塩化ビニル

Currently, 470,000 km of sewer has been installed. In sewer systems, aging of pipes and preparations for major earthquakes are one of the important tasks for civic life. Under such circumstances, a pipe rehabilitation method that rebuilds a sewer pipe by non-digging is attracting attention. In 2017, 605 km of sewer pipes are being rebuilt in that way.

In this market, Kubota ChemiX sells the “EX method” targeting the nominal diameter of 400 mm or less and “the Danby construction method” targeting the nominal diameter of 800 mm or more.

In this issue, we report on technical developments for improving workability efficiency for expanding sales of the “EX method”.

【Key Word】

Sewer System, Pipe Rehabilitation, Aging, Earthquake Resistance Non-digging, Rigid PVC Pipe

関連する SDGs



1. はじめに

1-1 管更生事業の概要

現在、国内の下水管路施設は、47万kmを超える膨大なストックを抱えているが、国土交通省のデータ(図1)では、耐用年数50年を超える管路が既に1.3万km存在し、今後加速度的に増加していくことが示されている。老朽化が進む下水管路を継続的に維持していく必要がある。¹⁾

また、50年に一度程度の発生を想定されている大規模地震が、最近では頻りに発生している。既設管の中には、十分な耐震性能がない管もあり、耐震性能の向上も大きな課題の一つである。

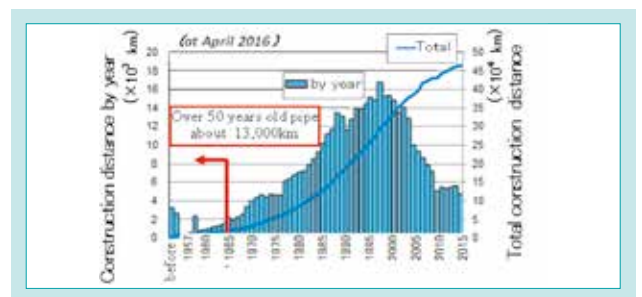


図1 下水道管路長の推移

Fig. 1 Management Distance of Sewers Every Year

これら課題への有力な対応策として、非開削で既設の下水管を再構築する管更生工法が注目を浴び、2017年度には約605 kmの施工が行なわれている。管更生工法は、大きく分類すると、既設管内に人が入れない呼び径800 mm未満の工法と人が入れる呼び径800mm以上の工法とに分類される。今回報告するEX工法は、既設管呼び径400 mm以下を対象として、硬質塩化ビニルを使用した部材で管路を更新する方法であり、15年ほど前に施工会社と共同開発した工法である。

この領域には、現在20工法以上が上市され、激しい競争が繰り広げられている。用いられている材料は、繊維強化プラスチック(FRP:熱硬化性)が圧倒的に多く、硬質塩化ビニル(PVC:熱可塑性)を用いる工法は実質2工法のみである。使用材料別のシェアをグラフ(図2)に示す。

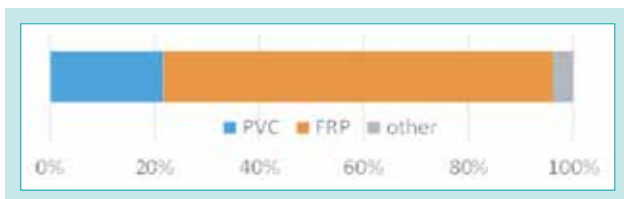


図2 使用材料別のシェア (2017年)
Fig. 2 Share by Material Used (2017)

FRPを使用する工法は、大きなシェアを有するものの、施工現場において熱や紫外線で化学反応させるため、FRP硬化の不安定性による品質のばらツきの解消が、要改良点として強く指摘されている。

PVCを使用するEX工法は、施工現場では化学反応を必要としないため、品質的にバラツキが小さく安定している。これを強みの一つとして差異化を図り、普及を促進する計画である。

1-2 EX工法の概要

EX工法とは、PVC製の円形に巻き取った長尺パイプを施工現場で蒸気と熱風により加熱軟化させ、マンホールから既設管内に連続的に引込み、膨張、密着させることで、既設管内面を新規のPVC管で被覆更生させるものである。図3に長尺パイプの外観と施工状況写真を示す。



図3 長尺パイプの外観と施工状況

Fig. 3 Long Length PVC-pipe and Landscape of Pipe Laying Work

蒸気加熱装置の概要図を図4に、EX工法の施工概要図を図5に示す。

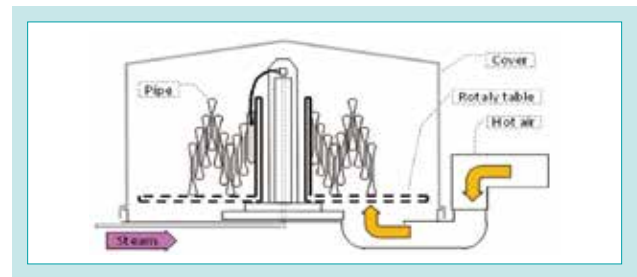


図4 蒸気加熱装置
Fig. 4 State of Heating

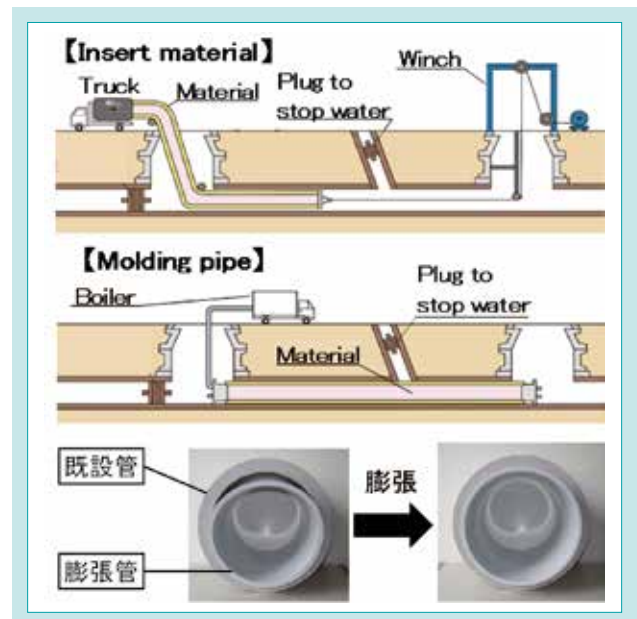


図5 EX工法施工図
Fig. 5 Image of the EX Method

1-3 EX工法の普及に向けた課題

EX工法を、呼び径400 mm以下の管路で更なる普及を目指すには、施工技術の改良と製品力強化が必須と考えている。特に、管更生工法は、製品が施工現場で完成するという性質上、施工品質(性能、出来形)確保の確実性が要求されており、メーカーとしては、製品品質だけではなく、その施工性を含めたトータル品質を強く意識して、技術改良を進める必要がある。

一方で、EX工法は、同じPVC製の更生製品と比べ、蒸気加熱時の膨張安定性等、施工が難しいことが指摘されており、拡販を阻害する大きな要因となっている。また、性能劣化ではないものの、製品供用中に、管路と下水中の硫化水素の硫黄成分との反応で管路表面が黒色化することがあり、材質の変更が望まれている。

本稿では、上記の様なEX工法に求められる様々な課題に対して、クボタケミックスが取り組んでいる改良開発状況について、報告する。

2. 改良開発の目標

2-1 開発コンセプト

問題となっている施工の不具合点を正確に把握するため、全国の施工担当者を対象にEX工法の施工に関する不具合や要望を調査した。

集まった様々な意見の分析結果と市場要望から、開発コンセプトとして、「誰が行っても、容易に、同じような施工ができ、より高品質な工法へ」を掲げた。

2-2 技術課題及び目標

2.2.1 技術課題

施工性向上と、より高品質な管路を具現化するために、技術課題を以下に決定した。

(1) 施工方法の改良

予備加熱した後のパイプ引込前の加熱状態の確認・調整は、施工の良し悪しを大きく左右する工程である。そのため、この加熱状態を施工法改良によって安定化させ、人の感覚に頼らない、施工格差の小さな施工を可能にする。

(2) 材料の改良

① 軟化温度の低下

パイプが軟化している時間を延長させ、作業時間を確保し、更に安心して施工できるようにする。

② 脱鉛配合への変更

硫化水素による変色の原因は、鉛系熱安定剤である。この安定剤を変更することで、変色を抑制し、品質の信頼性を向上する。

2.2.2 目標

(1) 施工方法の改良

- ① 巻取ったパイプの芯から巻終りまでの安定した軟化状態の確保
- ② 加熱時間の25%短縮
- ③ 蒸気での火傷リスクの解消(=安全確保)
- ④ 施工時における施工マニュアルの理解と遵守

(2) 材料の改良

- ① ビカット軟化温度(熱可塑性プラスチックを加熱した時に軟化が始まる温度指標)の5°C引下げ
- ② 非鉛系配合への変更
- ③ コストアップなし(現行同等)

3. 改良開発の内容

3-1 施工方法の改良

引込み前にパイプを加熱させる装置は、パイプをセットした後、テント状のカバーをかけ、内部に蒸気や熱風を供給して使用する。施工性向上の第1段階は、この加熱装置の改良と使用条件の見直しを中心に、実機による実験を推進した。EX工法の施工性評価加熱装置と実験の状況写真を図6に示す。



図6 施工性評価加熱装置

Fig. 6 Landscape of the Pipe Laying Work Experiment

以下に、本改良開発の中でより大きな効果を得られた項目を説明する。

(1) 加熱用蒸気の管理法変更と供給量調整

パイプ加熱の際の熱源は、蒸気と300°C程度の熱風を使用している。主たる熱源である蒸気については、パイプサイズにかかわらず一定の圧力で管理していた。

しかし、実験により、この圧力管理では蒸気配管等の抵抗により供給される蒸気量が変動することを突き止め、蒸気の管理方法を圧力管理から流量管理で行うよう切替えた(図7)。

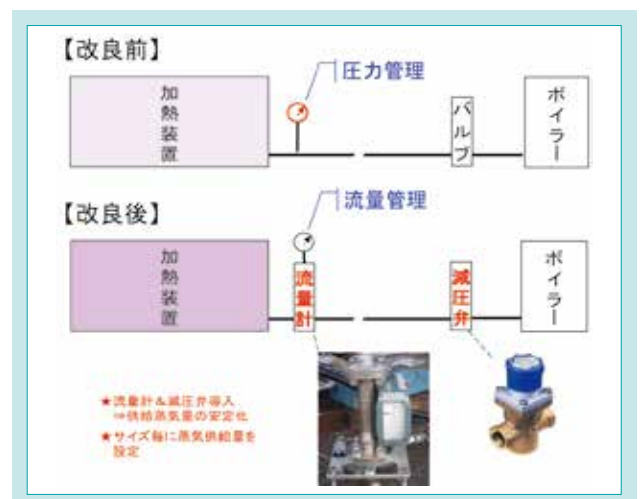


図7 加熱用蒸気の管理法変更

Fig. 7 Changes in the Steam Control Method

(2)乾燥工程の供給熱量アップ

EX工法の施工では、パイプを既設管に引込む間はパイプが軟化していることが要求される。

パイプは蒸気のみでの加熱でそのまま引き出すと、表面に付着している水滴の気化で熱が奪われ、急激な材料の温度低下を生じて、材料の軟化状態を維持できる時間が短くなる。また、蒸気が充満した加熱装置を開ける際、噴き出す蒸気により火傷を負うリスクがあり、危険であった。

これらを防ぐためには、加熱完了時のパイプ表面を、乾燥させねばならない。しかも、この工程の時間短縮も図らねばならないため、乾燥に使用する熱風の発生装置の能力を150%アップさせた。

ところが、この熱風能力アップにより加熱装置内に局所的に加熱される部分が発生し、改良前の装置及び条件では、パイプ劣化や装置破損を生じるという新たな問題が発生した。その対策として開発したのが熱気拡散ボード(以下、拡散ボード)である(図8)。



図8 熱気拡散ボード

Fig. 8 Apparatus of the Steam Diffusion Board

拡散ボードは、300℃以上で吹き込んでくる熱風を、材料を載せた回転テーブル下から均一に吹き出すための部材である。加えてカバーの天井中央に設けた排気口から内部の熱気を抜く構造とし、かつ拡散ボードと回転テーブルの空間の温度をセンサで計測し、熱風供給機のON/OFFをコントロール(温度調節)することで、局所的な高温化を防ぎ、問題解決を図った。

温度調節の効果を加熱装置内の温度測定グラフで示す(図9)。装置内の最高温度が50℃以上抑制されている。

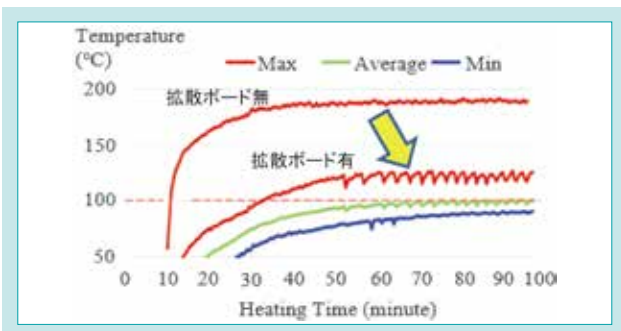


図9 温度調節の効果

Fig. 9 Effect of Temperature Control

(3)外部環境の影響の抑制

実験の結果から、外部環境(気温、風等)の影響を受けやすいことも問題点として取上げた。従来使用しているテント状の風よけ用のカバーは取扱い性を重視したため、保温性能は期待できない仕様であった。

作業性も含めた検討の結果、側面と天井部分に新たに保温材を設置する対策を施した。保温材は、厚いほうが効果は大きいですが、施工現場での取扱い性を重視し、厚さ4 mmの発泡シートを採用した。また、天井部分は風の影響を避けるため保温材の上に風よけ用のカバーをかけ効果アップを図った。

保温材を設置した加熱装置の写真を図10に、保温効果の確認結果を図11に示す。



図10 保温材付加熱装置

Fig. 10 Appearance of Improved Heating Device

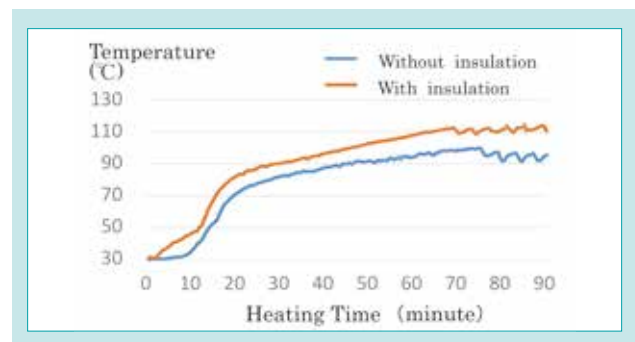


図11 加熱装置の保温効果

Fig. 11 Internal Temperature Change by Thermal Insulation

保温材を設置した方が、加熱速度が速く、温度も10℃以上高い条件で維持されていることが分かる。

(4)施工性向上の総合的な成果

今回の結果として、当初目標①～③を達成することができた。②加熱時間は従来120分→90分まで25%短縮できた。④については、施工マニュアルに展開の上、全国で実技を交えた施工法教育を実施し、各施工班への教育を図っている。その結果、これまでに大きなトラブル報告もなく、順調に施工されている。パイプの改良前後の比較写真を図12に示す。従来は、不安定であった巻き戻し後のパイプ表面が、滑らかに均一になっている。



図 12 改善前後のパイプ表面

Fig. 12 State of the Pipe Before and After Improvement

(5) 極寒冷地での施工適用

また、これまでの加熱装置では施工不可能と言われていた寒冷地(真冬の北海道)でも、今回の改良機では、問題なく施工ができるようになった。寒冷地施工での状況写真を図13に示す。



図 13 寒冷地での施工状況

Fig. 13 Construction in Hokkaido in Midwinter

3-2 材料の改良

上述の様に、EXパイプの温度調整は非常に重要であり、施工面で数々の対策を加えてきた。これら施工面での対策に加え、材料への改良を加えることで、EX工法を更に使いやすいものに進化させていく。以下は、材料的な改良の方法について説明を行う。

(1) 材料軟化温度の低下

蒸気加熱による施工可能温度領域の幅を広げるため、材料の軟化温度を低下させる検討を行った。これは、材料の硬さ指数(弾性率等)の上限を、より低温度領域にシフトさせることで、幅広い温度領域での施工を可能にする考え方である。図14にその原理を示す。

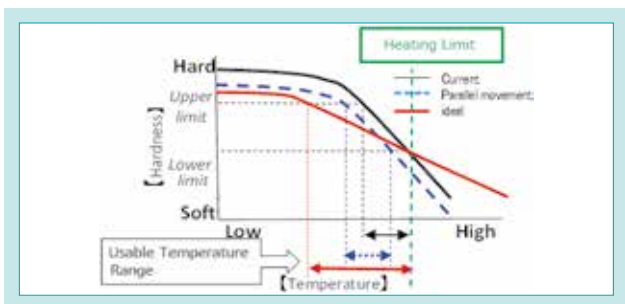


図 14 施工可能温度域での硬さ

Fig. 14 Usable Temperature Range

材料の硬さを全体的に低下させる(図14の青点線)だけでなく、材料の軟化速度を緩やかにすることで、膨張可能な温度領域を拡大させることを狙う(赤ライン)。

材料を軟化させるには、いくつかの手法があるが、一般的には、軟質系材料を添加することで全温度領域に亘って、材料の硬さを低下させる処方が組まれる。然しながら、それだけでは、高温側の施工可能領域が狭くなってしまいうため、高温側での材料軟化を極力抑える必要がある。

現在、PVC重合度の調整(高重合度化しつつ柔軟性を付与する添加剤の選択)、及び施工温度領域で軟化が始まる成分の極小化など、柔軟性と高温での軟化抑制が可能な材料特性(図15の緑ライン)を目指し配合調整中である。

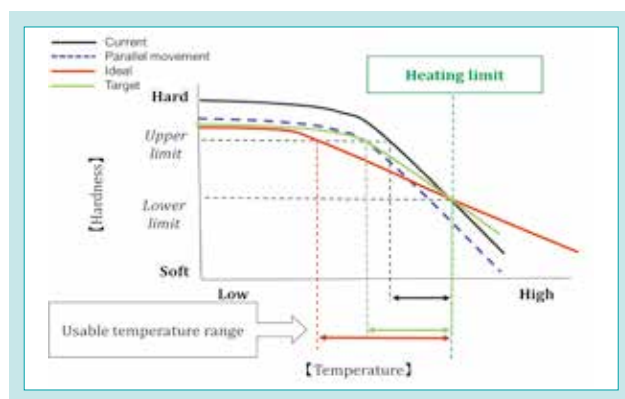


図 15 施工温度領域における軟化曲線目標

Fig. 15 Target Temperature Range (Green Line)

(2) パイプ物性と施工性の両立

パイプの膨張性を確保することは、蒸気加熱(80~90°C)時の材料柔軟性を保つことであり、常温での材料性能(強度的な品質)からは、逆行する方向となる。EXパイプに求められる、材料性能の一覧を表1に示す。大きく分けると下水道協会Ⅱ類に規定される規格と管の施工性(膨張性)を担保させるための社内規格に分かれている。

表 1 EXパイプに求められる主要材料性能
Table 1 Major Specifications Required for the EX Pipe

性能項目		性能	備考
引張特性	引張降伏強さ	42 MPa 以上	下水道協会Ⅱ類規格
	引張破断伸び	100 % 以上	
	引張弾性率	2,000 MPa 以上	
扁平強さ	線荷重 (kN/m)		
呼び径 150~400 mm	3.38 ~ 6.61 以上		
耐薬品性(酸・アルカリ)	±0.20mg/cm ² 以内		
軟化温度(ビカット)	76 °C 以上		
曲げ特性	曲げ強さ	64 MPa 以上	
	曲げ弾性率	2,000 MPa 以上	
圧縮特性	圧縮強さ	51 MPa 以上	
	圧縮弾性率	1,500 MPa 以上	
シャルピー衝撃	6 kJ/m ² 以上		

曲げ特性	曲げ弾性率 (長期試験値)	1,250 MPa 以上	社内規格
耐摩耗性	下水道用硬質塩化ビニル管と同等 (摩耗量236.9mg 以下)		
アセトン浸せき性	内外面両方ともに侵されないこと		
巻付け性	破断しないこと		

いずれの性能項目も膨張後の材料について、下水道用硬質塩化ビニル管並の耐久性が求められており、管の膨張性と膨張後の材料品質の両立を果たさなければならない。

(3)脱鉛配合への変更

現在使用している鉛系安定剤での配合は、鉛成分が汚水に含まれる硫化水素の硫黄成分と化学反応を起こし、パイプが黒色に変色する。変色の状態を図16に示す。

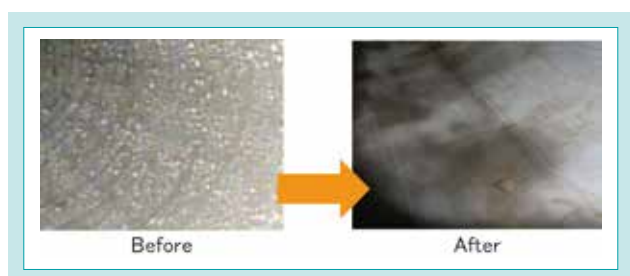


図 16 硫化汚染によるパイプの変色
Fig. 16 Discolored State After Construction

更生管の色は、施工後のTVカメラでの確認を容易にするため白色系であることが望ましい。硫化汚染による変色原因となる安定剤成分を鉛系から変更することで、供用後の変色防止を実現していく。安定剤成分の変更については、過去の知見を基に、硫化汚染による変色の起こらない錫系、及びカルシウム亜鉛系安定剤について比較検討を行い、その結果、物性(柔軟性)と生産性・コストの面で優位と考えられる錫系安定剤を選択した。施工性の改善と併せ、脱鉛配合による製品品質の向上効果を早期に実現すべく、現在、製品品質(物性)の確認と生産性の評価を検証中である。現在、材料性能面では、既に、要求性能を満足する材料もできており、施工性の確認実験、並びに生産条件、製品品種による変動を見極めるための成形性評価を継続中である(表2)。

表 2 脱鉛配合製品の評価状況
Table 2 Evaluation Situation of Lead-free Compound Products

		予備評価	最終評価
材料性能	Ⅱ 類規格	合格	2019 年 4 月内 完了予定
	社内規格	合格	
成形性評価	製品外観	評価中	
	量産性		
施工性評価	引込・膨張性	合格	

4. おわりに

4-1 成果の評価

今回の施工性改良開発で、従来なら施工難易度が高いため、施工会社に敬遠される傾向があった呼び径350、400 mmについても、受注が始まってきている。クボタケミックスとしても、材料関連のみでなく施工における引込み前の加熱作業のノウハウを把握できた。

また、加熱装置は、今回検討した機種の数が一番多いが、他機種も現存しているため、他機種の改良・条件変更も現在推進している。加えて、今回のこの施工性改良開発を通じ、共同開発会社から更なる信頼をいただいたことも大きな成果の一つである。材料に関しては、施工性改善の効果を更に実感してもらうため、鉛系から錫系安定剤への配合変

更とともに、ユーザの皆様がより快適に使用可能な製品開発を目指し、配合改善を継続推進していく。

なお、EX工法の技術改良開発においては、従来は、製品材料関連をクボタケミックスが担当し、施工関連は共同開発会社(施工会社)が担当するスタンスであったが、今回は材料だけでなく施工法改良でも、クボタケミックスが積極的に関与し、施工性向上への諸策を強力に推進した。

4-2 管更生事業への貢献

施工性向上改良により、よりユーザに便利に安心して使用いただける管更生事業を目指し、本製品の普及により、下水道管路施設の更なる健全化に貢献できれば幸いである。

SDGs のターゲットへの貢献

6.2 下水施設・衛生施設へのアクセスの強化 安全で安価な下水道管路の更新により下水道インフラ整備に貢献
国内600 km以上の配管距離で下水道インフラ整備に貢献

9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 耐震性能の向上による持続可能かつ強靱なインフラの開発に貢献

参考文献

1) 国土交通省：下水道 計画的な維持管理

http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html (参照日 2018-11-19)

延焼防止機能付脚部継手の開発

Development of a Leg Part Joint with a Fire-Spread Prevention Function

株クボタケミックス 開発部

建設業界における人手不足とそれに伴う人件費の高騰、更には建築資材の高騰が続く中、人材確保と生産性向上がますます重要視されている。クボタグループでは、建築設備市場におけるこのような課題に対し、排水立て管と排水横枝管を、軽量で安価な塩ビ管で、安心・確実に配管できる延焼防止機能付集合管を投入して、顧客の課題解決に取り組んできた。本稿では、排水横主管をはじめとする最下階の配管も塩ビ管で配管できる、延焼防止機能付脚部継手の開発について報告する。

【キーワード】

排水管、脚部継手、防火区画、熱膨張材

While the construction industry has suffered from shortages of manpower and the accompanying rise in personnel expenses, and the continued soaring of building materials, securing human resources and improving productivity are increasingly emphasized. In response to these challenges in the building equipment market, the Kubota Group introduced a special drainage fitting “Shugokan” with a fire-spread prevention function that allows safe and reliable piping of drainage stack pipes and horizontal branch pipes with lightweight and inexpensive PVC pipes. We have been working on solving customer problems. In this paper, we report on the development of a leg part joint with a fire-spread prevention function with which piping on the lowest floor including the horizontal main drainage pipe can be installed using PVC pipes.

【Key Word】

Drain Pipe, Leg Part Joint, Fire Compartment, Thermal Expansion Material

関連する SDGs



1. はじめに

マンションでは、排水を下階に流下させる排水立て管に排水集合管継手、立て管基部に専用の脚部継手が用いられた排水集合管システムが広く用いられている。排水集合管には、住戸毎にトイレや浴槽からの排水管が接続され、流入した排水は排水集合管内部の羽根により螺旋状に回旋しながら流下する。排水集合管システムは、この旋回流により、排水立て管内の空気圧力変動を抑制しながら多量の排水を流すことが可能であり、高層マンションには欠かせないものとなっている。

排水集合管は通常、防火区画であるマンションの床スラブを貫通して施工されることから、接続される配管には耐火二層管や金属管を用いる必要があった。この配管を、軽量で安価な

塩ビ管とすることが可能な、延焼防止機能付排水集合管¹⁾が開発され、クボタイカシリーズとして販売されている。塩ビ管は、耐火二層管や金属管と比較して40%以上軽量であるとともに、施工が容易であり、配管作業の生産性が向上する。また、耐火二層管が不要となることで、切断時の粉塵や切断後の廃材が減量され、廃棄物を削減することができる。

延焼防止機能付排水集合管により、途中階の排水立て管と排水横枝管は塩ビ管で配管することが可能となった。更に、最下階の排水立て管、排水横枝管、排水横主管でも塩ビ管を使用可能とすることで、塩ビ管を使用できる範囲を広げることが課題となっていた。

2. 開発コンセプト

最下階では排水集合管が配管されない場合もあるため、立て管基部で必ず用いられる脚部継手に延焼防止機能を持たせることとした。その際、延焼防止機能付排水集合管と同様に、熱膨張材を用いて管内を閉塞させる方式を採用することとした。

ここで、熱膨張材を脚部継手のどの位置に配置すべきかを決定する必要がある。開発にあたり、

- ①継手本体閉塞タイプ：脚部継手の本体部分に熱膨張材を配置し、脚部継手の中を閉塞させる。
 - ②横主管閉塞タイプ：脚部継手の横主管側継手部に熱膨張材を配置し、塩ビの横主管を外側から潰して閉塞させる。
- の2案で予備実験を行い、どちらも管内を閉塞可能であることが分かった。①と②で熱膨張材の必要量はほぼ同じであったが、追加部品がより少ない①の方式を採用した。

3. 技術の説明

延焼防止のしくみを図1に示す。掃除口(CO)付脚部継手のCO蓋に熱膨張材を内蔵することで、延焼防止機能を実現した。CO蓋の内蓋には塩ビ、外蓋には鋳鉄を使用している。脚部継手本体には掃除口付の従来品を使用しており、CO蓋を入替えるだけで延焼防止機能を付与することができる。

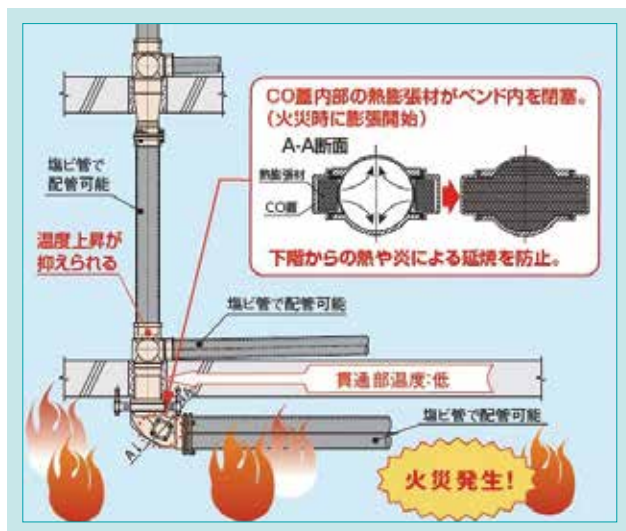


図1 延焼防止のしくみ
Fig. 1 How to Prevent the Spread of Fire

延焼防止機能付脚部継手は、国土交通大臣認定と(一財)日本消防設備安全センター性能評定(共住区画)の両方を取得した機種から順次運用を開始している。(一財)日本建築総合試験所で行った耐火試験の状況を図2に示す。2018年4月より2機種で運用を開始、2018年11月に全12機種のリニアアップを完了している。

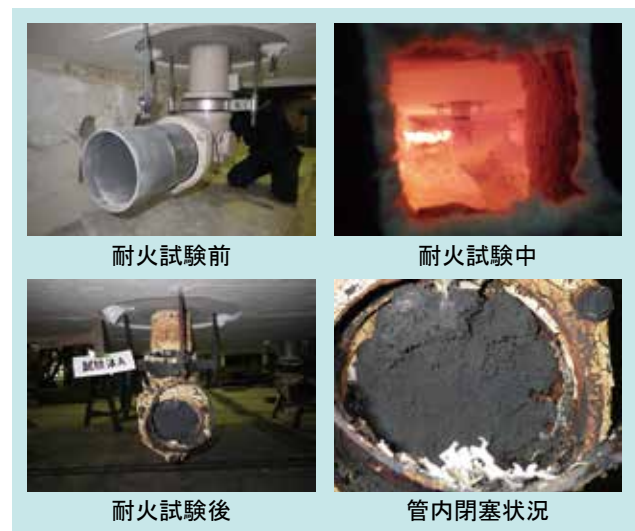


図2 耐火試験状況
Fig. 2 Fire Resistance Test Situation

4. おわりに

配管材料の樹脂化により、労働集約型産業である建築設備工事における就業機会の拡大と生産性向上、更には廃棄物の削減を図ることができる。次のステップとして、排水集合

管本体の樹脂化への取り組みを計画しており、その実現を通して、顧客と社会の課題解決に貢献していきたいと考えている。

SDGs のターゲットへの貢献

- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 耐火二層管に対し、40%以上軽量の塩ビ管による配管を可能に
12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 耐火二層管が不要となり、切断時の粉塵や切断後の廃材を減量

参考文献

- 1) 外山敬之ほか:「延焼防止機能付排水集合管の開発」、クボタ技報、42号、(2008)、pp.64-71

小口径柵用化粧蓋【LK ハット】

Lid for Placing the Decorative Material on the Ground for Plastic Inspection Chambers [LK hat]

1. はじめに

戸建住宅の庭や駐車場、集合住宅等の外構に設置される汚水/雨水柵用の蓋は、従来塩ビ製蓋が使用されている。しかしながら、蓋の素材、色等が周りの材料(インターロッキング、コンクリート、タイル)と違い景観が損なわれていた。

このたび、塩ビ製の小口径柵用化粧蓋【LK ハット】を開発した。これにより蓋の表面に周辺と同じ材料を使用し、景観にマッチングさせることが可能となった(図1)。

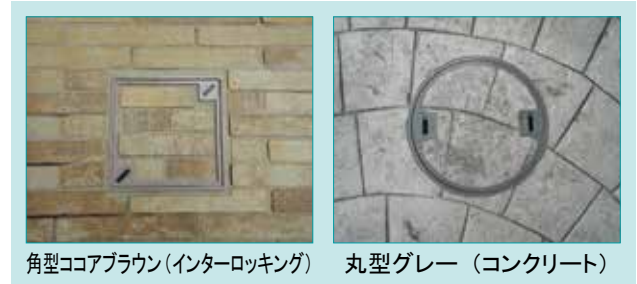


図1 仕上げ状況
Fig. 1 Finishing Situation

2. 製品の概要

(1)サイズ・種類

サイズ: φ150

種類: 丸型(グレー・ココアブラウン)

角型(グレー・ココアブラウン)

(2)使用方法

使用方法は、柵立上り部材に受枠を接合し、内蓋を接合する。上蓋をセットし、上蓋に蓋の周りと同じ材料(化粧材)を入れて完了となる(図2)。

(3)特長

- ・景観の向上(蓋表面に周りと同じ材料を使用)。
- ・路面に露出する部分は、2形状×2色から選択。
- ・軽量・コンパクトで取扱が容易である。

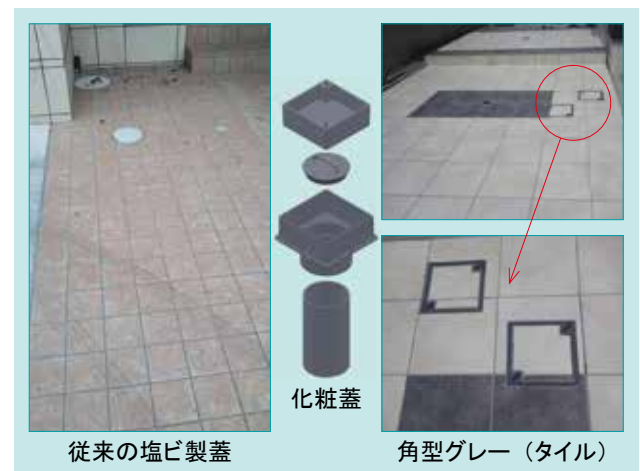


図2 従来の塩ビ製蓋との比較
Fig. 2 Comparison with Conventional PVC Lids

3. おわりに

今回紹介する小口径柵用化粧蓋【LK ハット】は、年間約500万個出荷される塩ビ製小口径柵に使用できる景観に配慮した製品である。柵クボタケミックスは、今後も景観に配慮した製品開発に取り組んでいきたい。

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