

For Earth, For Life
Kubota

KUBOTA TECHNICAL REPORT

クボタ技報 **53**
JANUARY 2020

ISSN 0916-8249

No.53

ISSN 0916-8249

JANUARY 2020

クボタ技報

KUBOTA TECHNICAL REPORT

クボタ技報

No.53 2020年1月

目次

巻頭言

クボタに受け継がれる信念	6
--------------	---

機械部門

国内向け直進アシスト機能付き小形トラクタの開発	8
自動運転アシストコンバイン WRH1200A の開発	14
国内向けディーゼル乗用田植機 NW6S/8S の開発	20
高速ガソリン Utility Vehicle RTV-XG850 の開発	26
トラクタ用サトウキビ葉除去インプラメント SLR110H の開発	32
大容量空気圧種子供給システムの開発	38
CRS-ECU の開発	44
中国普通型コンバイン搭載 KET 製ディーゼルエンジン V2403-M-DI-TI の開発	50
欧州向けミニバックホー KX027-4 の開発	56
業務用加湿空気清浄機ピュアウォッシャーの開発	62

水・環境部門

トンネル内配管用新耐震型ダクタイル鉄管 US 形 R 方式の開発	68
エチレン製造用分解管 AFTALLOY + MERT の開発	74
省電力型直胴遠心脱水機の開発	80
脱水汚泥の非加熱改質による省エネルギー肥料化技術の開発	86
液中膜 SP の産業排水への適用	92
樹脂製フランジの研究	94

新製品紹介

クラウド型管路管理システム 【WATERS-Cloud】	96
AI が人の代わりにデータを分析して異常運転を検知「マンホールポンプ AI 異常運転検知機能」	97

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.53 JANUARY 2020

CONTENTS

Prefatory Note

Kubota's Legacy Creed	6
------------------------------------	---

Farm & Industrial Machinery

Development of Tractor for Domestic Market with a "Keeping Straight Function"	8
Development of Autonomous Driving Assist Combine Harvester WRH1200A	14
Development of Diesel Rice Transplanter NW6S/8S for Domestic Market	20
Development of RTV-XG850 Hi-speed Petrol-powered Model	26
Development of Sugarcane Leaf Remover SLR110H	32
Development of High Capacity Pneumatic Seed Delivery System	38
Development of CRS-ECU	44
Development of V2403-M-DI-TI Diesel Engine (KET) for PR0758 General Purpose Combine Harvester for Chinese Market	50
Development of the Mini Excavator KX027-4 for European Market	56
Development of Commercial Humidified Air Purifier "Purewasher"	62

Water & Environment

Development of New Earthquake-Resistant Ductile Iron Pipe US-R Type for Piping in Shield Tunnel	68
Development of AFTALLOY+MERT as a Cracking Tube for Ethylene Production	74
Development of the Energy-saving Cylindrical Dewatering Centrifuge	80
Development of Energy-saving Fertilizer Technology by Non-heat Reforming of Sewage Dewatered Sludge	86
Application of Submerged Membrane SP to Industrial Wastewater	92
Development of All-plastic Flange	94

New Products

Cloud-type Pipeline Management System [WATERS-Cloud]	96
Manhole Pump AI Abnormal Operation Detection System	97

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			
■		国内向け直進アシスト機能付き小形トラクタの開発		
■		自動運転アシストコンバインWRH1200Aの開発		
■		国内向けディーゼル乗用田植機NW6S/8Sの開発		
■		高速ガソリンUtility Vehicle RTV-XG850の開発		
■		トラクタ用サトウキビ葉除去インプラメントSLR110Hの開発		
■		大容量空気圧種子供給システムの開発		
■	■	CRS-ECUの開発		
■	■	中国普通型コンバイン搭載KET製ディーゼルエンジンV2403-M-DI-TIの開発		
	■	欧州向けミニバックホーKX027-4の開発		
	■	業務用加湿空気清浄機ピュアウォッシャーの開発		
	■	トンネル内配管用新耐震型ダクタイル鉄管US形R方式の開発		
	■	エチレン製造用分解管AFTALLOY+MERTの開発		
	■	省電力型直胴遠心脱水機の開発		
	■	脱水汚泥の非加熱改質による省エネルギー肥料化技術の開発		
	■	液中膜SPの産業排水への適用		
	■	樹脂製フランジの研究		

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



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。
https://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
		●						★	★							●	●
		●						★	★			●				●	●
		★						★	●			●				●	●
		★						●	●		★	●				●	●
	●	★	●					★			●	●	●			●	●
	●	★						★				●				●	●
		●					●	●	★							●	●
		★					★		●			●				●	★
								★	★		★					●	●
			★			●			●		●	●				●	●
						★			★		●					●	●
							★					★				●	●
		●				★	●		★			★				●	●
						★	★		●		●	●				●	●
						●		★	★		●					●	●

クボタに受け継がれる信念

代表取締役社長

北尾 裕一

President and
Representative Director

Yuichi Kitao



クボタは、1890年（明治23年）に創業してから130年にわたって、「食料・水・環境」の各分野で人々の暮らしと社会に貢献するさまざまな製品を世に送り出してきました。これは創業者 久保田権四郎の「やればできる・失敗を恐れるな」、「技術的に優れているだけでなく、社会の皆様に役立つものでなければならない」という信念をずっと受け継いできたからです。

【食料】機械化の一貫体系を完成させ、収量アップに貢献

- ・戦後のまだ食料が不足していた時代から、さまざまな農業機械を開発し、豊かで安定的な食料の生産ができるようにしてきました。
- ・1960年代にはトラクタ・コンバイン・田植機を次々に開発し、稲作農業の機械化一貫体系をほぼ完成させました。単収（水稲10aあたり平年収量）の50%アップ（1955年：335kg ⇒ 1995年：501kg）などに貢献し、国内の食料不足の課題解決やGDPの増大に寄与しました。
- ・その後海外に展開、それぞれの国や地域のニーズに合う製品を開発し、現在では世界のおよそ100カ国で累計400万台以上のクボタトラクタが利用されています。

【水】日本初の水道用鉄管を開発、安全な水を人々に

- ・文明開化の花が開いた時代、コレラ・チフス・天然痘などの伝染病が流行した国内において、クボタは国産初の水道用鑄鉄管を開発しました。1903年に東京の水道に700tを納入するなど、全国の水道整備に関わり、現在の上水普及率：98%に大きく貢献してきました。
- ・現在は、バルブ・ポンプ・合成管などの上水関係、また下水道インフラ機器など、水環境に関わるさまざまな製品や技術を提供する総合メーカーとして、人々に安全・安心な水を供給することに貢献しています。

【環境】溶融技術・汚染処理技術で環境保全に貢献

- ・1980年代に香川県豊島に大量に不法投棄された産業廃棄物においては、独自の回転式溶融炉と、揮発性有機化合物や高濃度ダイオキシン類処理など最先端の高度排水処理技術を組み合わせることによって、2003年から14年かけて91万tの処理を行い、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、福島県双葉町の放射能汚染廃棄物の減容化に取り組んでいます。

社会は常に変化しており、課題も変化していきますが、昨今、その課題は複雑化・大規模化する傾向にあります。このような状況の中、いつの世にも「クボタがいてくれてよかった」と思われる存在でありたいと考えています。

そのためには、今一度創業者の信念に立ち返り、全社一丸となって果敢に社会の課題解決にチャレンジしていく必要があります。

このクボタ技報53号には、ICTによる農作業の効率化・軽労化や生産性向上に貢献する自動運転アシスト機能付きのトラクタ・コンバイン・田植機、除菌・加湿により感染症疾患の予防にも貢献する空気清浄機、上下水道の強靱なインフラ整備に貢献する耐震型ダクタイル鉄管や樹脂製フランジなどの製品開発と、クラウドコンピューティングやAIを活用した新しいサービスの紹介など、モノとコトの両面で、創業者の信念を受け継ぎ、社会の皆様に役立つものの事例を掲載しています。

ご一読いただき、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。

Kubota's Legacy Creed

Over the 130 years since its foundation in 1890, Kubota has delivered a variety of products that contribute to people's lives and to society in the areas of "food, water and the environment." Throughout that time, we have held firm to the creed of the company's founder, Gonshiro Kubota: "If you try hard, you can get it done," "Do not be afraid to make mistakes," and "Our products should be not only technically excellent but also useful for the good of society."

[Food] Contributing to increased crop yield through accomplishing an integrated mechanization system

- Since the post-war period when people were still suffering from food shortages, Kubota has developed many types of agricultural machines to realize the stable and plentiful production of food.
- In the 1960s, we successively developed tractors, combine harvesters and rice transplanters, almost accomplishing an integrated mechanization system for rice farming. Those products contributed to a 50% increase in the productivity (normal yield of paddy-field rice per 1000m², from 335 kg in 1955 to 501 kg in 1995), helping Japan to resolve the national food shortage problem and boost its GDP.
- In subsequent years, we began exploring overseas markets and developed products to meet the particular needs of different countries and regions. To date, a cumulative total of more than four million Kubota tractors have been used in some 100 countries.

[Water] Developing Japan's first iron water pipes to deliver safe water to people

- During the period in which western technologies and culture were being rapidly introduced into Japan, epidemics of infectious diseases such as cholera, typhoid and smallpox were prevalent. In light of that situation, Kubota developed the first cast iron water pipes to be made in Japan. Since our company supplied 700 tons of water pipes for Tokyo's water system in 1903, through working on development of water distribution around the country, we have made a significant contribution to Japan's water distribution systems, which now serve 98% of the country's population.
- Currently, we contribute to the provision of safe, reliable water as a comprehensive provider of products and technologies relating to water and the environment,

including valves, pumps, plastic pipes, and other products for water systems, together with equipment for sewerage infrastructures.

[Environment] Kubota's melting and wastewater treatment technologies contribute to environmental conservation

- In a project to clean up the massive volume of industrial waste illegally dumped in the 1980s on Teshima Island, Kagawa Prefecture, our unique rotating melting furnace was combined with our advanced wastewater treatment technologies to treat toxic such as volatile organic compounds and high-concentration dioxins. In the project, Kubota cleaned up 910,000 tons of waste over the 14-year period starting in 2003, making a major contribution to restoring the environment.
- Utilizing melting technologies and know-how that we gained through this project, we are currently working on reducing the volume of radioactively contaminated waste in Futaba-town, Fukushima Prefecture.

As our society constantly changes, so, too, do the challenges it faces; in recent years, those challenges have been getting increasingly complex and large in scale. Given those circumstances, we aspire to having people say: "We are fortunate to have Kubota." Our aim is to be perceived as such a company for all people at all times.

To that end, we need to revisit the creed of our founder and all of us need to work together to aggressively tackle social challenges.

In this issue, No. 53 of the Kubota Technical Report, readers will find examples of products and services that serve the public in accordance with our founder's creed. It includes articles about the development of products such as tractors, combine harvesters and rice transplanters with automated driving assist functions that contribute to greater efficiency and reduced workloads in farm operations, and to improved productivity through application of ICT; air purifiers to help prevent infectious diseases by sterilizing and humidifying indoor air; earthquake-resistant ductile iron pipes and plastic flanges that contribute to the development of robust water supply and sewerage infrastructures; and new services that utilize cloud computing and AI.

I hope that you will read this report and thereby gain a deeper understanding of Kubota's activities.

国内向け直進アシスト機能付き小形トラクタの開発

Development of Tractor for Domestic Market with a "Keeping Straight Function"

トラクタ技術第一部／機械研究第一部

日本国内の農業は高齢化を背景に経験年数の浅い従事者の割合が増えており、熟練したスキルを有する人員の不足が問題となっている。クボタはこの問題への解決手段の一つとして2016年に水田作業に対し直進キープ機能付き田植機を市場投入した。一方で、畑作における小形トラクタ作業においても熟練したスキルが必要な作業が多く、同様の問題を抱えている。この問題に対し直進キープ機能を活用し省力化・効率化を図ることを目的とし、畑作業に適応したNB21GS直進アシスト機能付き小形トラクタを開発、市場投入した(図1)。本稿では、自動操舵に関わるトラクタ作業の特徴を明確にし、開発技術について紹介する。

【キーワード】

ロボット、自動操舵、GNSS、GPS(全地球測位システム)、傾斜地

In Japanese agriculture, against the background of an aging population, the proportion of inexperienced workers is increasing and the consequent shortage of skilled human resources is becoming a serious problem. As one of the solutions to this problem, in 2016, Kubota released onto the market a rice transplanter with a “Keeping Straight Function” for use in rice paddy cultivation. Similarly, field cultivation with a compact tractor requiring skilled and experienced operators has the same problem. To address this problem, Kubota has developed a compact tractor with “Keeping Straight Function” to save labor and improve efficiency (Fig.1). This paper describes the efforts made in the development process and defines the characteristics of working with a compact tractor.

【Key Word】

Robot, Automatic Steering, GNSS, GPS(Global Positioning System), Sloping Ground

関連する SDGs



1. はじめに

国内農業は、高齢化による人手不足を背景に農地集約が進み、担い手による農業経営が増加している。その担い手農家では、収益をあげることが求められるため、効率化や省力化が必要となっている。人手不足に対しては国や地方の施策により、新規雇用就農者が増加傾向にあるもののスキル不足のため任せられる作業に限られている。このような背景から、農業機械による効率化や農業経験の無い人でも早期に熟練オペレータ同等の作業が行えるようになることが求められている。

また、担い手農家では収益向上のため作物を稲から野菜に転作するケースが増加している。小形トラクタでの畑作業においては、面積当たりの収量を上げるため、狭い間隔で畝を立て、播



図1 直進アシスト機能付小形トラクタ「NB21GS」
Fig. 1 Compact Tractor “NB21GS” with Automatic Steering

種または移植するなど直進性への要求が高い作業が多い。直進精度が悪いと、収量減少、生育のばらつきや作業のやりなおしによる手間の増加等につながる。加えて、作業中は作業跡や作業状態を確認しながらハンドル操作や作業機調整を行うため、オペレータの高度なスキルが必要である。そのため未熟者には任せられないのが現状であり、限られた人に大きな精神的・肉体的負担が偏る作業となっている。

クボタは田植作業における高度なスキルを有する人材が不足

している問題に対して、全地球航法衛星システム(GNSS:Global Navigation Satellite System)を活用した田植機の直進自動操舵機能(直進キープ機能)を2016年に開発した。本開発ではこの直進キープ機能を活用し、小形トラクタでは業界初の直進自動操舵トラクタを開発することにより畑作業における問題解決に取り組んだ。本稿では田植機の直進キープ機能をトラクタに適応させるため、新たに開発した技術について紹介する。(以下、トラクタ用の直進自動操舵機能を「直進アシスト機能」という。)

2. 開発のコンセプトと目標値

小形トラクタの魅力として低価格、小回りが利く(狭い間隔の隣接作業が可能)、扱いやすい(操作がシンプル)という点がある。この魅力を活かしつつ広く普及可能なトラクタとなるよう、「安価で・誰でも・簡単に・熟練者並の作業が安心してできるトラクタ」をコンセプトとした。

このコンセプトを満たすため本開発ではトラクタの畑作業において以下3点を目標に開発を行った。

- ①田植機作業とは異なるトラクタ作業の特徴に適合させた高い直進精度をリーズナブルな販売価格で実現する。
- ②走行しながらスムーズに直進アシスト機能を開始できる容易な操作性を実現する。
- ③不注意や誤操作への対策機能を搭載し、作業を行いながらも誰でも安心して使用できる機能設計とする。

3. 解決すべき技術課題

3-1 高い直進精度の実現

トラクタ作業では田植機作業とは異なる特徴があるため、以下の状況において、既存の制御では直進精度を確保することができなかった。トラクタ特有の作業状態においても目標精度を達成させることが課題となった。

①傾斜状態での作業

傾斜地や隣接作業時のようなトラクタが常に傾斜した状態において、従来の制御では傾斜による影響を加味していないため作業跡の蛇行が発生してしまう。傾斜状態でも高い直進精度を達成する制御技術が必要であった。

②さまざまな作業機を使用した作業

畑作業では使用する作業機がさまざまである。作業機の種類により操舵への負荷が異なることや、作業位置からアンテナ位置の距離が異なるため同じ制御では作業跡が蛇行する場合がある。加えて、圃場の状態の影響を受けるため場所や作業時期によって適切な制御が異なる。既存の後付け自動操舵装置に作業や圃場状態に合

わせることができるものがあるが、調整が複雑でありユーザでの対応・変更が難しい場合が多い。そこで、多くの作業を網羅でき、満足される仕上がりを得られる制御を誰でも簡単に使いこなせるシステムとする必要があった。

③長時間の作業

本開発では製品価格を抑えるため、位置情報測位方式として中精度で比較的安価なDGNS (Differential GNSS)測位を採用することとした。しかし、DGNS測位は経時起因の位置情報誤差が発生し、おおむね2分を超えると誤差が顕著に表れる可能性が高いという特徴がある。小形トラクタでは比較的低速で作業を行うため、一行程の作業時間が5分以上になることがあり、DGNS位置情報の誤差により直進精度が悪化する可能性がある。位置情報誤差が生じた場合であっても作業終了地点まで直進精度を保ち自動操舵を行えるシステムを開発することが必要であった。

3-2 作業しながら簡単に使える操作インターフェースの実現

直進アシスト機能は直進時のみ自動操舵を行い、旋回時は手で操舵を行う必要がある。手動操舵から自動操舵に切り替えるためにはスイッチ操作が必要になるが、トラクタ作業では決められた隣接幅になるように旋回後に作業位置を正確に合わせる場合には、圃場の凹凸にハンドルをとられないよう常に両手でハンドルを握って慎重に作業を行う必要が

ある。そのため、ハンドルから手を離さずに自動操舵切り替え操作ができ、誰でも簡単に使えるインターフェースを構成することが課題となった。また、従来のトラクタにはない操作が増えるため、初めて使用する人でも、戸惑うことなく操作することが必要であった。

3-3 オペレータが安心して使える支援機能の実現

本開発機能により直進時のハンドル操作が不要となるため、オペレータの意識は走行操作から離れ、作業状態の確認などに集中することが考えられる。そのため、作業の終了位置に気付かない、周囲状況が変わり位置情報受信状態

が変化したことに気付かない、という可能性が出てくる。このようなオペレータの不注意や圃場外での誤操作へ対応でき、誰でも安心して作業できる機能の開発が必要であった。

4. 開発技術

4-1 直進制御技術の開発

4.1.1 傾斜状態での直進制御

熟練者が傾斜地でハンドル操舵を行った場合に着目すると、直進時であっても常に斜面上方向にハンドルを切った状態で作業を行っている。つまり、ずれる量と傾きに応じてハンドル操作を行っている。

そこで、操舵制御において修正方向を決定する際にIMU(Inertial Measurement Units)の傾斜に関する情報を加味した制御とした(図2)。傾斜による横ズレや本機の傾きが発生した場合、前輪を通常の直進時より斜面上方向に切った状態となり、スムーズなハンドル制御で目標精度を維持することを可能にした。

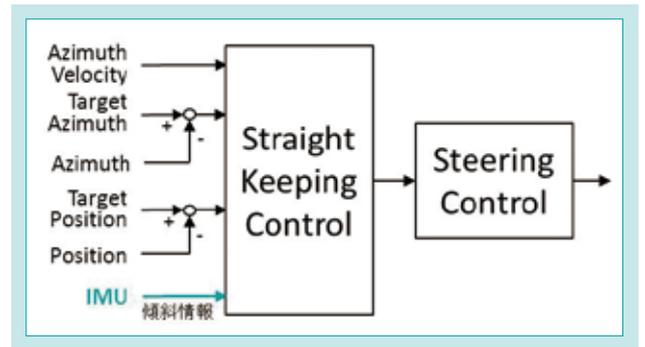


図2 操舵制御ブロック
Fig. 2 Block Diagram of Controller

4.1.2 作業の特徴にあわせた直進制御

さまざまな条件で目標精度を満たすためには作業機や圃場ごとにあわせて制御を変える必要がある。わかりやすく簡単な方法で適した制御を行える方法として、作業内容を作業機の位置、抵抗、操舵輪荷重の違いで分類し、3つのモードに集約することで異なる条件にも対応できる仕組みを開発した。さらに、それぞれの作業について3段階の感度設定を設けることで圃場状態の違いにも細かく対応させた。作業・感度の設定による違いは表1および表2ようになる。2つの設定を組み合わせることで計9パターンの制御が選択でき、作業に合わせて細やかに対応ができる。操作は、カラー液晶モニタ上で3つの作業から条件の近い作業を選択し、圃場状態にあわせてさらに感度を調整するだけで設定が完了するという、簡単操作を実現した。

表1 作業設定による制御の特徴

Table 1 Characteristics of Control in Each Work Setting

項目	適応作業	操舵への影響	作業の特徴	制御ゲイン
畝立て	畝立て、畝立て同時マルチ/播種	大	耕うんに比べて作業機からの抵抗が大きく、路面の影響は受けにくいはずれだすと大きくずれる	大
耕うん	耕うん、耕うん同時播種/施肥	中	操舵に対して作業機からの抵抗はあるが、操舵による応答も良好	
3P上げ	施肥、播種	小	耕うんに比べて作業機からの抵抗が少なく、操舵によりスムーズに車体方位を変えられる	小

表2 感度設定による制御の特徴

Table 2 Characteristics of Control on Sensitivity Setting

項目	想定されるほ場状態	手動操舵時の特徴	設定前のGS走行状態
敏感	地面からの抵抗が大きい(重い、粘土質)	大きな力が必要	作業跡が大きく蛇行する場合に設定
普通	地面からの抵抗が中程度	-	-
鈍感	地面からの抵抗が小さい(軽い、さらさら)	小さい力で操舵できる	前輪が細かく振れる場合に設定

4.1.3 一行程が長時間となる作業への適応

コストと性能(直進性)の両立に向けて本開発では以下の方法で課題を解決した。

①機体方位算出のアルゴリズム変更

位置情報から算出される機体方位を実際の方位により近づけることで、低速作業時における制御の精度を向上させることに着目した。方法として、機体方位計算におけるアルゴリズムを従来の制御では比較的離れた距離の位置情報を用いていたところを、より細かい区間で捉えて判断するように改

良を行った。これにより、実際の方位に近い方位角を算出できるようになり、制御の精度を向上させ安価なGNSSユニットであってもトラクタ作業にあった直進精度を実現した(図3)。

②オペレータによる補正

コストを抑えて長時間作業時の精度を維持する方法として、直進アシスト中に進行方向をオペレータが補正する方法を考案した。新たに補正スイッチを導入しオペレータが目標ラインからのズレを認識した場合にスイッチを押し、押した方

向に一定距離分目標ラインを移動させるという方法である。スイッチ操作での位置補正時は急なハンドル制御で作業跡が乱れないようになめらかな制御とした。また、補正スイッチは直進アシスト走行開始後の隣接間隔の微調整にも使用で

き、隣接作業の仕上がりが向上も図ることができる。スイッチには直感的な操作が可能なシーソ式を採用した。補正スイッチによる軌道を図4に示す。

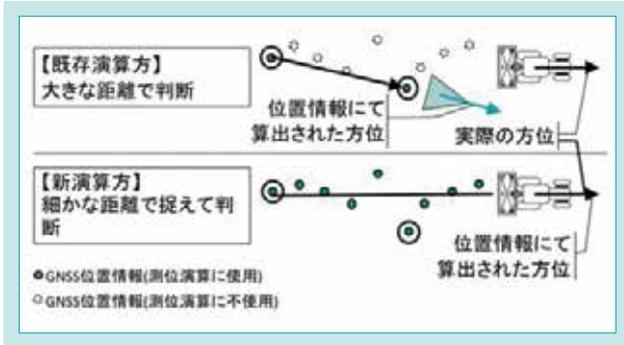


図3 GNSS方位計算方法
Fig. 3 Method Used to Calculate GNSS Azimuth

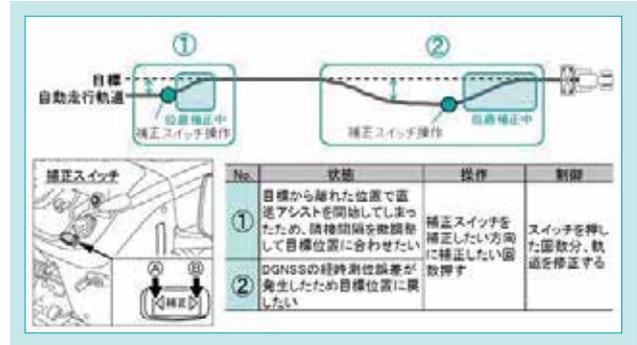


図4 補正スイッチ操作時の軌道
Fig. 4 Orbit Pushing Assist Switch

4-2 操作インターフェースの開発

4.2.1 操作しやすいレイアウト

旋回後、自動操舵に切り替えるまでは手動で操舵するため、直進アシストに必要なスイッチはハンドルを操作しながら操作できるようハンドル付近に搭載することとし、①通常のハンドル操作や作業機昇降用スイッチ操作が問題なく行えること、②操作面が広がることによる乗降動作に影響が出ないこと、③他の操作レバー類の操作性やラベルの視認性を確保すること、を品質目標とし、スイッチ種類の選択や操作性を考慮したレイアウトとした。新規スイッチを図5のとおり配置し、直進アシスト機能の基本操作を行うスイッチは1個のスイッチに集約しシンプルな機構とした(図6)。このスイッチは上下左右に動く4方向レバースイッチとし、前後で基準線の登録、上下で直進アシスト走行の ON/OFFが行えるようにした。これにより、スペースを最小限とし、従来の機能を確保したまま、ハンドルから手を離さずに指だけの操作で行えるようになり、これまでに市場浸透している作業機昇降用レバー(ポンパレバー)との感覚的な統一も図った。基本操作を全て1つのスイッチに集約することで、わかりやすく誰でも簡単に使える機構を実現した。

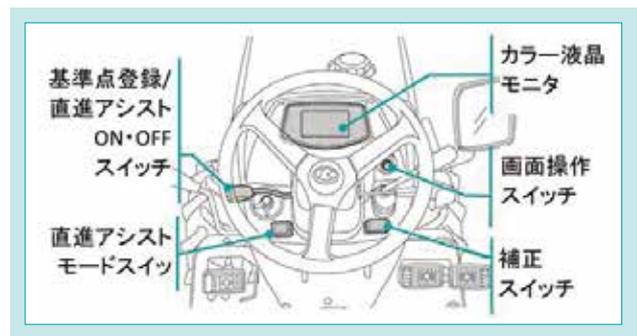


図5 操作インターフェース
Fig. 5 Interface of the Developed System

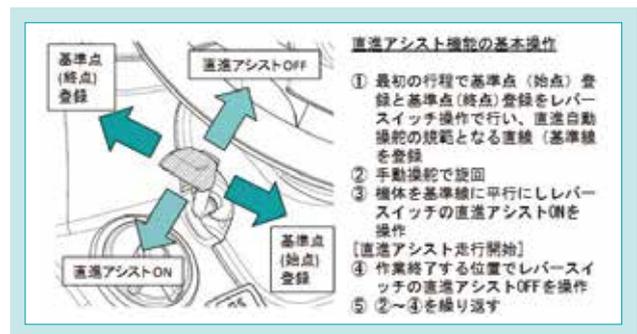


図6 直進アシスト基本操作
Fig. 6 Basic Operation of the Keeping Straight Function

4.2.2 カラー液晶モニターでのガイダンス

直進アシスト機能の操作についてはカラー液晶モニターを利用しガイダンスを表示した。①初めて使用する人でもいつ何をどの方向に操作するのかがわかる、②直進アシストの制御状態が一目でわかる、③作業の中でも特に難しい作業開始時の機体の方向合わせをサポートするガイダンスを表示する、ということを目指し開発を行い、絵と短い言葉を用いて直感的に理解しやすい表示とした(図7)。



図7 モニタ表示
Fig. 7 Monitor Display

4-3 安心サポート機能の拡充

4.3.1 圃場外での誤使用防止機能

トラクタは圃場外での積み込み作業や公道走行を行う。積み込み・公道走行時に誤って直進アシスト機能が起動してしまうと操舵に影響を与え転倒などの恐れがあるため、圃場外での直進アシスト機能の使用を防ぐ必要がある。

この課題に対し、自動操舵に関わるステアリング操舵を制御するモータドライバ、モータ等の装置の電源供給の入/切を行う機構を考案した。入/切は直進アシストモードスイッチ

4.3.2 機体状態のお知らせ

①作業終了位置お知らせ機能

直進アシストによる作業中、注意力が低下すると圃場端を通過してしまう可能性がある。そこで、作業終了位置を検知し終了位置の通過を防止する必要がある。

田植機での直進キープ機能でも同様のお知らせ機能が存在し、前行程で直進キープ機能をONした位置を記録し、旋回後に記録した位置を現行程の終了位置としてブザー音とモニタ表示で知らせている。

一方でトラクタでの畑作業では旋回せずに一方向にだけ作業をし、次行程に移る時は後進で作業開始位置まで戻る作業が存在する。この時、前行程の作業開始位置と作業終了位置が一致せず、お知らせ機能が使えないことになる。そのため、本開発では、新たな作業終了位置を検知するアルゴリズムを開発した。前々行程で直進アシスト機能をOFFした位置を仮定の作業終了位置として登録することでトラクタに適したお知らせを実現した。お知らせの方法としては、田植機と同様に直進アシスト作業中に作業終了位置に近づくとブザー音とモニタ表示で知らせることとした(図8)。

②傾斜お知らせ機能

直進アシストが可能になったことで作業確認に注力してしまい、凹凸部にのりあげるなどして急傾斜してしまうなどの可能性があるため、オペレータには特に周囲の確認を促す必

で行い、入のときのみ機能を起動させることができ、エンジン始動時には必ずモード切となる仕様とした。直進アシスト機能を使用する前には意識的に入にする必要があり、これにより意図しない直進アシスト機能の起動を防ぐことを可能とした。また、入/切の状態をオペレータが容易に確認できるように、カラー液晶モニタに表示する仕様とした。

要がある。そこで、本機傾斜センサにより傾斜角度が閾値以上となったことをオペレータに警告する機構を開発した。閾値は小形トラクタで通常作業が可能と考えられる10度とし、10度を超えるとブザー音とモニタ表示で警告することで作業中であっても本機状態を認識でき、安心して作業が行える機構とした。

③位置情報測位レベル低下お知らせ機能

作業を進めるうち周囲状況が変わった場合にGNSS位置情報測位レベルが悪化することがあり、直進精度が一時的に悪くなる可能性がある。この場合にブザー音とモニタ表示で知らせる機能とすることで、作業中でも受信状況を把握しながら作業を行える機構とした。

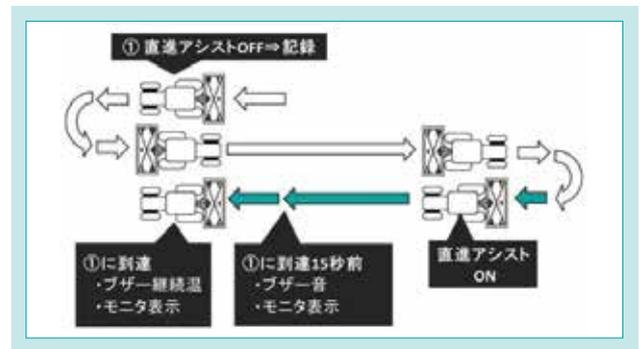


図8 作業終了位置お知らせ機能
Fig. 8 Approach Finish Point Function

5. 開発技術の市場評価

5-1 各地圃場条件での評価

5.1.1 直進性

前項までの技術開発を行い、さまざまな条件・作業で全国各地にて試験を行った。結果は高精度で制御できており、各作業における要求精度を達成した(図9)。

5.1.2 操作性

操作性の評価のため初めてトラクタを運転する方に試乗していただいた。結果、初心者でもすぐ扱うことができ、楽に

直進作業が行えた(図10)。試乗いただいた方は「手動の場合、作業機の操作がある時は手いっぱい曲がってしまい、真っ直ぐ走行するだけの時には前方から目をそらさないようにずっと集中し緊張状態だった。直進アシスト走行の場合は、後ろを振り返って作業状態を確認する余裕ができた」と感じられており、軽労化も実現させた。



図9 試験結果(写真)
Fig. 9 Result of Test (Pictures)



図10 初心者による直進作業の比較
Fig. 10 Comparison of Straight Furrows by Beginner

5-2 ユーザ評価

購入いただいたユーザへの聞き取り調査を行った。評価の一部を表3に示す。ユーザからは、操作は簡単に行え、導入の効果としては、直進性と軽労化を高く感じられており総合的に満足していただけた。価格においても機能相当であるとして受け入れられた。また、当初想定していた軽労、高精度化に加え、作業確認が容易になり車速を上げて作業が可能になったことで、能率アップの効果があった、他の作業に割く時間ができた、ことなどを評価された。

表3 ユーザ評価
Table 3 User Evaluation

項目	評価
軽労化	薬剤の残量を確認しながらでも余裕をもてるようになった
	距離が長いほど気を張っていたのが楽になった
	以前の作業跡を見ながらハンドルを握るという無理な姿勢による疲れがなくなり1日乗っていても楽になった
効率化	作業状態の確認が容易になり車速アップできたため
	以前の約1.5倍でできるようになった
	車速アップできたためほかの作業にさける時間ができた
精度	大満足している
	以前は後ろを振り返るたびに曲がっていたが真っすぐ行けるようになるのが良い
コスト	性能に見合った価格だと思う
	2人作業を1人でできるようになった(経費削減)
スキル	新規就農者にとってプロの近道になると思う

6. おわりに

本開発機は、業界初の小形トラクタクラスでの自動化トラクタとなる直進アシスト機能付きトラクタとして2019年に発売を開始した。作業の特徴に合わせた制御技術の開発により、オペレータの技量に左右されずに高精度なトラクタ作業を実現できた。また、高価な自動化農機に比べ小形トラクタのユーザにも手の届く手ごろな価格(標準機から50万円アップ)で提供できたことにより、より多くのお客様に自動化の効果を感じていただける製品となった。

本製品は、市場の人手不足の問題解決と効率的な農業経営の実現に大きく貢献できるものと考えている。

今後は、お客様からの評価や要望をもとに、より実作業に適合した自動化を進め、KSAS(営農・サービス支援システム「クボタスマートアグリシステム」)や他機種との連携による高効率・高品質な作物生産の実現へ向けた技術開発を推進していく。

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 ICTにより農作業の効率化に貢献

9.5 科学研究、イノベーションの促進 農業の自動化促進に貢献

自動運転アシストコンバインWRH1200Aの開発

Development of Autonomous Driving Assist Combine Harvester WRH1200A

収穫機技術部／システム開発第一部

日本農業は、離農や高齢化に伴う農家戸数の減少により、担い手農家への農地集約と規模拡大が加速している。しかしながら、担い手農家では人手不足や省力化への対応などさまざまな問題を抱えている。こうした問題を解決するため、クボタではGNSS(Global Navigation Satellite System)を利用した直進キープ機能付田植機や自動運転トラクタを実用化してきた。コンバインにおいても、収穫時期になると収穫→乾燥・調整→出荷とハードな日が続く作業者の負担軽減を求められていた。そうした要望に応えるため、GNSSを利用し、「誰もが、簡単操作で・楽に・無駄のない最適収穫ができるコンバイン」をコンセプトにした業界初となる自動運転アシストコンバイン「WRH1200A」を発売した。

【キーワード】

コンバイン、自動運転、GNSS、走行制御、アシスト

Japanese agriculture is accelerating the consolidation and expansion of farmland to principal farmers due to the decrease in the number of farmers as a consequence of those abandoning farming and aging. However, principal farmers are confronted with various problems such as labor shortages and the need to reduce labor costs. In order to solve these problems, Kubota has commercialized rice transplanters with a straight-ahead function and autonomous driving tractors using the Global Navigation Satellite System (GNSS). Even in the combine, at the time of harvesting, it was still necessary to reduce the burden on the workers who had to work continuously from harvesting → drying and winnowing → shipping and faced long hard days as a consequence. In response to these demands, we have also launched WRH1200A, an autonomous driving assist combine harvester that uses GNSS, and is based on the concept of "a combine harvester that makes it possible anyone to perform optimal harvesting easily and without waste".

【Key Word】

Combine Harvester, Autonomous Driving, GNSS, Driving Control, Assist

関連する SDGs



1. はじめに

近年の日本農業は、就労人口の減少や高齢化を背景に、担い手農家への農地集約と規模拡大が加速している。しかしながら、オペレータの人数が規模拡大のスピードに追いついていない担い手農家も多く存在し、オペレータの確保や省力化が求められている。

こうした声に応えるため、クボタでは高精度で測位可能なRTK-GNSS(Real Time Kinematic-GNSS)を利用して自動で稲／麦の収穫を行い、オペレータ不足や作業負担軽減を実現する自動運転アシストコンバイン「WRH1200A」を開発した(図1)。



図1 自動運転アシストコンバイン「WRH1200A」

Fig. 1 Autonomous Driving Assist Combine Harvester "WRH1200A"

2. 開発のコンセプトと目標

2-1 開発のコンセプト

コンバインによる収穫作業では、刈り残しなく作業を行うために、複数のレバー等を操作して、進行方向・速度・刈り取り部の高さ調整を常時行う必要がある。それと同時に、コンバイン周囲の安全確認や効率よく作業を行うための作業経路、無駄な走行が発生しないモミ排出タイミングの判断等を行わなければならない、非常に高いスキルや経験が

必要とされる。また、収穫時期になると、収穫・モミ運搬・乾燥・出荷といった作業を連日こなす必要があるため、オペレータには大きな負担がかかる。

そこで開発コンセプトは、「誰もが、簡単操作で・楽に・無駄のない最適収穫(匠刈り)ができるコンバイン」とした。

2-2 開発目標

コンセプトに沿ったコンバインを実現するため、開発目標は以下のとおりとした。

(1)簡単操作

マップ作成や設定など、自動運転を開始するまでの操作を極力簡単なものにする。

(2)楽

収穫作業中の操作が不要で、オペレータは安全と作業状態の監視に専念できること。

(3)最適収穫

効率の良いルートで走行し、最適なタイミングでモミ排出位置へ自動で移動すること。

3. 解決すべき技術課題

(1)簡単な自動運転

自動運転の操作や前段階となるマップ作成手順が煩雑なものであると、誰にでも受け入れられる実用的な製品ではなくなってしまふ。

また、コンバインの場合、トラクタや田植機と違い、作業する圃場に作物が存在するため、事前に圃場内で機体を

走行させてマップ点の設定をすることができない。

手動で刈り取る通常作業時に対して、できるだけ少ない追加作業でのマップ作成アルゴリズムや操作仕様の構築が必要であった。

(2)コンバインの自動走行技術

コンバインでは、目標とする走行ラインに対して、単に精度よく走行するだけの制御では実用的でない。収穫作業時に急な操舵を行うと刈り取り部で作物を倒してしまい、刈り残してしまうためである。

また、圃場の硬さや沈み量といったさまざまな条件は、地域・天候・季節等により異なる。同じ圃場でも雨が降ると、全く圃場状態が変わってしまうこともある。

どのような圃場条件でも、作物を刈り残すことなく走行できる制御技術が必要であった。

(3)最適な走行経路

コンバインの収穫作業では、収穫したモミをコンバインのグレンタンクに溜めていき、満タンとなった時点でモミ運搬車の位置までコンバインを移動させて排出作業を行う。

手動での刈り取り作業では、モミ運搬車から遠い場所ではタンクが満タンになり、無駄な走行が発生することがある。

無駄な走行が発生しない、走行経路の作成技術の構築が必要であった。

4. 開発技術

4-1 簡単な自動運転

4.1.1 マップ作成技術の開発

マップ作成方法については、極力簡単な操作・作業で行えるように検討を重ね、周囲刈りを通常通りに数周行うだけで完了するという実用性の高いものとした。

マップ作成時も通常作業と同様に手動運転で圃場の最外周から収穫作業を行う。このとき、刈り取りを行った領域の幅（一般的にあぜから作物までの距離となる）が全周で6m以上となれば、作業を行ったコンバインのRTK-GNSSから得られる位置情報をもとにマップが作成される。6m以上としている理由は、自動運転1周目の巡回で必要とされる領域を確保するためである。マップ作成の後、残った未刈り領域を自動で収穫する(図2)。

マップ領域の算出方法は、手動にて周囲刈りを2~3周行った際の軌跡点から、最外周の軌跡点と最内周の軌跡点を求める。その後、最外周と最内周の軌跡点毎に直線

近似を行い、圃場外形と未刈り領域を求める(図3)。この未刈り領域の各辺と圃場外形との最短距離が全て6m以上となれば、マップ作成は終了する。

このような算出方法により、普段の周囲刈りと同様の作業をするだけで、マップ作成することが可能となる。



図2 自動運転の作業エリア
Fig. 2 Work Area of Autonomous Operation

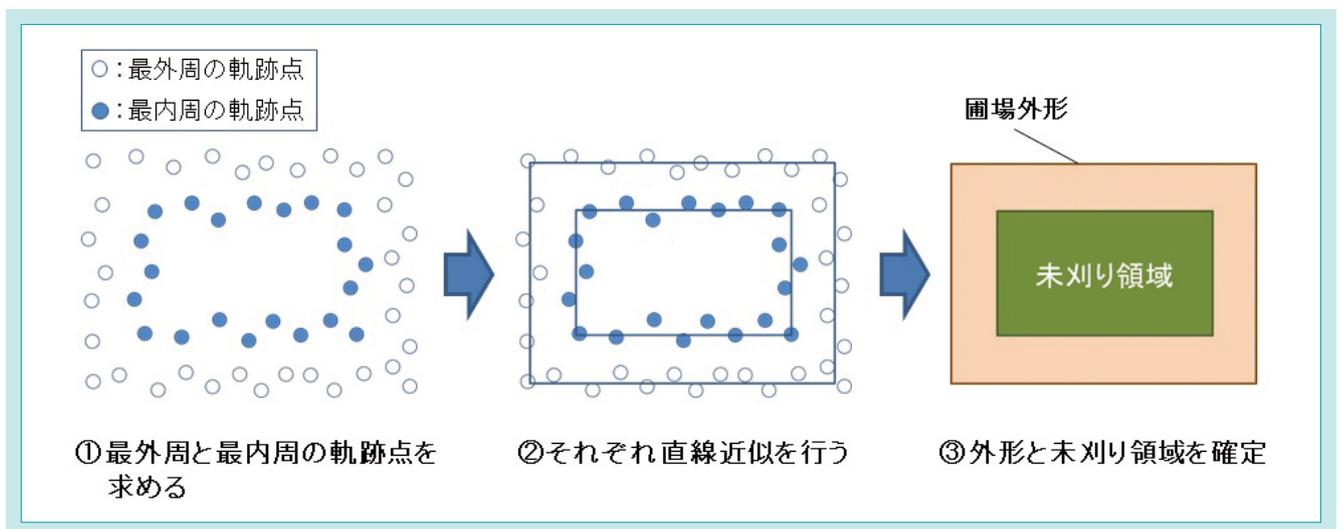


図3 マップ作成のイメージ
Fig. 3 Schematic Representation of Map Making

4.1.2 シンプルな設定

マップ作成後は、運転席の左上に設置したターミナルモニタ(図4)にて旋回方法とモミ排出位置の設定を行う(図5)。通常行う設定はこの2項目だけのため、マップ作成完了後はすぐに自動運転を開始できる。

旋回方法は、図6に示す α ターン(前後進で90°旋回)とUターン(前進180°旋回)のどちらかを選択する。 α ターンを選択すると、反時計回りに渦巻き状に収穫していく一般

的な走行を行う。一方のUターンは、走行距離が短くなる経路を逐次算出しながら収穫する自動運転ならではの走行を行う。

モミ排出位置は、モミ運搬車付近に設定し、コンバインのグレタンクが満タン近くになった際や作業が完了した際に自動的にそこまで移動して停車する。



図4 ターミナルモニタ
Fig. 4 Terminal Monitor

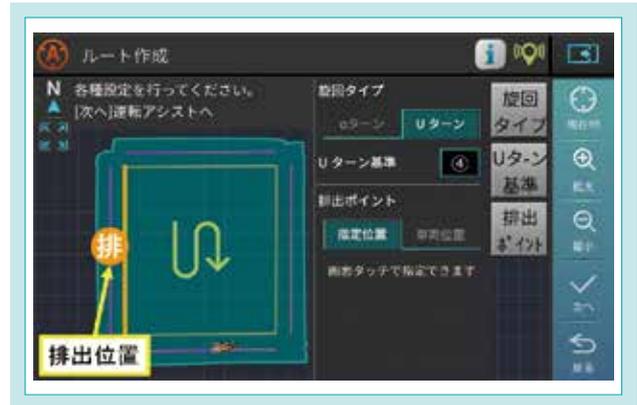


図5 旋回と排出位置の設定画面
Fig. 5 Setting of Turn and Discharge Position

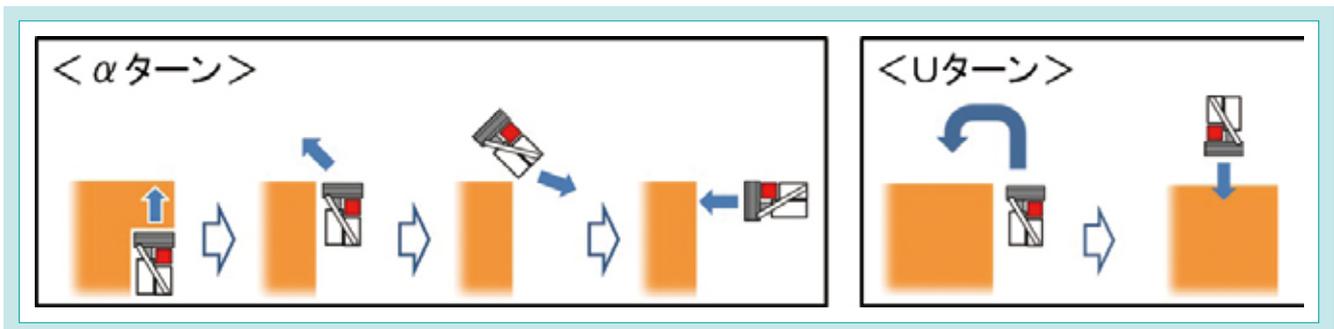


図6 α ターンとUターン
Fig. 6 α -turn and U-turn

4.1.3 自動運転

マップ作成と設定を終えると自動的に走行経路が生成される。その後、運転アシスト開始スイッチ2つを同時に押し、主変速レバーを前進側へ操作するだけで自動運転が開始される(図7)。

自動運転開始後は、速度調整・左右操舵／旋回・刈り取り部の高さ調整は自動で行われるため、オペレータは安全と作業状態の監視に専念できる(速度と刈り取り部の高さは手で調整することも可能)。

このように簡単な操作で自動運転を開始でき、楽に収穫作業を行うことができる。



図7 自動運転の開始操作
Fig. 7 Start Operation of Autonomous Driving

4 - 2 自動走行制御

4.2.1 走行制御

自動運転中の走行制御はRTK-GNSSからの位置情報をもとに行っている。本製品に搭載しているRTK-GNSSユニット(図8)はアグリロボトラクタ等でも使用されているクボタ製のもので、IMU(Inertial Measurement Unit)も内蔵されているため、コンバインの姿勢情報も得ることができる。IMUとRTK-GNSSの出力情報を組み合わせることで、高精度(±2.3cm)かつ高レートな位置・方位情報を得て走行制御を行っている。



図 8 RTK-GNSS ユニット
Fig. 8 RTK-GNSS Unit

自動走行している間、得られたコンバインの現在位置と現在方位から、目標経路に対する位置偏差と方位偏差(図9)を算出し、それぞれの偏差を最小とするように操舵制御を行っている。

コンバインでは急な方向修正を行うと、刈り取り部の側面で作物を押し倒してしまい、倒された作物は刈り残ってしまうため、作物を押し倒さない操舵指令量となるように自動調整する制御を実装した。

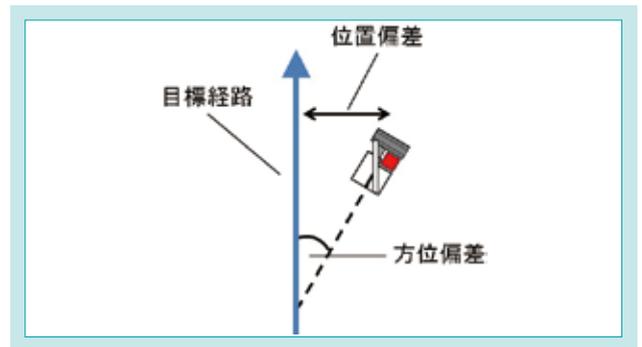


図 9 位置偏差と方位偏差
Fig. 9 Position Deviation and Azimuth Deviation

4.2.2 旋回安定性

コンバインの旋回性に影響を及ぼす圃場の硬さや沈み量といった条件は千差万別で、地域・天候・季節等により異なる。また、同じ圃場でも刈り取り状況によりグレンタンクの重量が変化するため、コンバインの重量バランスに偏りが発生して左右の旋回力に差が出る。そのため、同じ

走行制御プログラムで動作させても、精度良く走行できない場合がある。

実際にさまざまな圃場条件を作って走行テストを繰り返し、異なる圃場条件でも安定した精度で旋回が行えるように偏差に対する操舵制御量の最適化を行った。

4 - 3 最適経路

4.3.1 旋回方法ごとの走行経路

自動運転中の旋回は、オペレータが事前に α ターンとUターンから選択する。Uターンを選択した場合、未刈り領域とコンバインの最小半径に応じて、旋回時の走行距離が短くなる経路を算出しながら走行する。これにより、空走距離を削減し、無駄のない最適収穫が可能となる。

図10は、同じ圃場にて α ターンとUターンで作業した場合の旋回回数を比較したものである。Uターンの場合、旋回回数は α ターン時の半分となり、作業時間を短縮できる。約5000m²の圃場で比較を行った結果、Uターンの方が約10%作業時間を短縮できることを確認した。

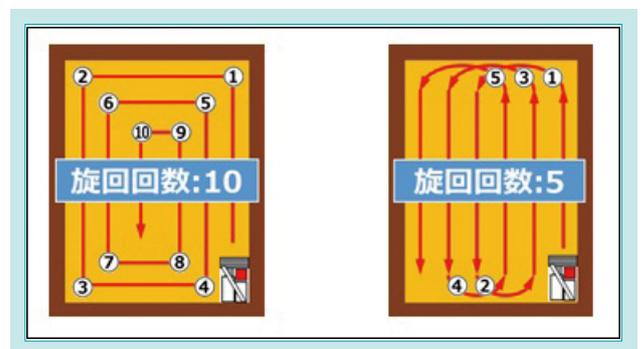


図 10 旋回回数の比較
Fig. 10 Comparison of the Number of Turns

4.3.2 収量予測による排出位置への自動移動

モミ運搬車から遠い場所でタンクが満タンになると、刈り取り作業せずに走行する無駄が発生する。これを防ぐために、グレンタンク下に設けた収量センサ(図11)で常にタンク重量を測定し、タンクが満タンになる地点を予測している。

設定したモミ排出位置を基準として、次の1周の途中で満タンになると判定すると、自動で排出位置へ移動する(図12)。



図 11 収量センサ
Fig. 11 Yield Sensor

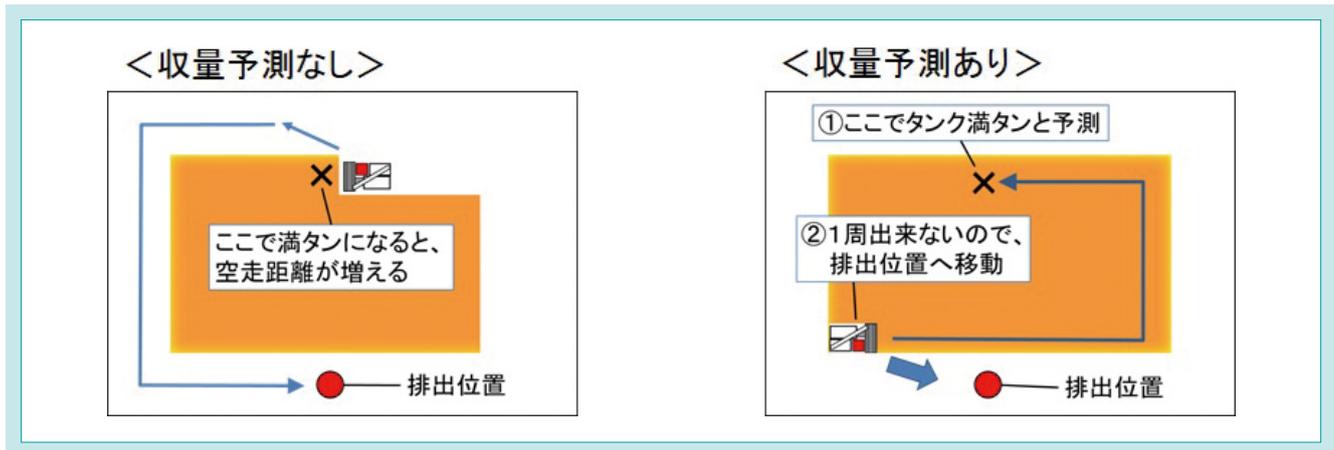


図 12 排出位置への自動移動
Fig. 12 Autonomous Movement to Discharge Point

5. おわりに

熟練オペレータではなくても、「誰もが、簡単操作で・楽に・無駄のない最適収穫(匠刈り)ができるコンバイン」をコンセプトに開発に取り組んだ。使用したユーザからは「作業が楽になった」といった声をいただいている。この製品が、熟練作業不足の解決、収穫作業の負担軽減、経営規模拡大に貢献することを期待する。

今回の製品はユーザが乗車し、周囲の安全や作業状態を監視するものであるが、最終的には無人運転が目標である。無人で運転させるには、安全確保のため、コンバインの周囲に人や障害物がある場合、直ちに走行を停止させなければならない。そのためには、コンバインに障害物を検出するセンサを設置することになるが、コンバインはトラクタや田植機とは異なり周囲に作物がある状態で作業を行う機械であるため、障

害物と作物とを見分けることができる低価格なセンサの開発が必要である。

他にも、コンバイン収穫作業に対して、「作業状態を見たい」あるいは「見ていないと不安だ」といったユーザの意見があり、コンバインは詰まりや収穫作物の状態変化が伴うものとの認識が多くある。無人で運転させるためには、より安定して収穫作業ができるようにコンバインの基本性能の向上も不可欠である。

無人化には上記の他にもさまざまなハードルが存在するが、就農者の大幅減少といった日本農業が抱える大きな問題の解決のため、無人運転コンバインの実用化に向かって取り組んでいく。

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 業界初の自動運転コンバインで就農者の省力化に貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 日本農業の労働力不足解決に貢献

国内向けディーゼル乗用田植機NW6S/8Sの開発

Development of Diesel Rice Transplanter NW6S/8S for Domestic Market

移植機技術部／機械研究第一部

国内農業では大規模農家への農地集約が進んでおり、担い手農家のニーズに応える製品開発が重要である。本開発では「担い手農家の経営課題を解決する高性能・高精度な田植機」をコンセプトに、基本性能の向上と資材節減というセールスポイントを持つ製品を開発した。本稿では開発技術の中から、田植機の基本性能の一つである深田走破性向上への取り組みと、資材節減につながる新セールスポイントとして創出した「株間キープ」「施肥量キープ」機能の開発について紹介する。

【キーワード】

深田走破性、軽量化、資材節減、高精度化、スリップ補正、HST

In domestic agriculture, there is an ongoing process whereby farmland is being consolidated and taken over by large-scale farmers, and it is important to develop products that meet the needs of these leading farmers. Based on the concept of creating a "high-performance and high-precision rice transplanter that solves the management issues faced by farmers in charge", we have developed a product that features two major selling points: improvement in basic performance and reducing the consumption of materials. This paper describes, among the development technologies, efforts to improve Fukada's running ability, which is one of the basic requirements of a rice transplanter, and the development of the functions to "Maintain an even distance between rows" and "Maintain even fertilizer application" have been created as new selling points that lead to material savings.

【Key Word】

Ability to Run in Deep Rice Fields, Weight Saving, Material Saving, High Accuracy, Slip Compensation, Hydrostatic Transmission

関連する SDGs



1. はじめに

国内では、担い手農家への農地集約が加速しており、今後は担い手農家のニーズに応える製品開発がより重要となっている。

担い手農家のニーズ(経営課題)は大きく「増収」と「経費節減」に分けられる。増収の基本は規模拡大であり、これまで作業速度の向上や大型化(多条化)に取り組んできた。

一方経費節減についてはこれまで疎植や密播苗など栽培面からのアプローチが多く、機械的な面からはどのメーカーも策を講じていなかった。

以上より、本開発では担い手農家からの要望が最も高かった「基本性能の向上」に加え、「経費節減」に貢献する田植機の開発に取り組んだ。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

本開発では「担い手農家の経営課題を解決する高性能・高精度な田植機」をコンセプトとし、基本性能のレベル

アップに加え、これまであまり着目されていなかった経費節減に焦点をあてた。

2.1.1 基本性能の向上

本開発では田植機の基本性能である「走る」「植える」「肥料を撒く」について、レベルアップを図る開発を行った。

たとえば、「植える」性能としては、植付爪の軌跡変更や苗の掻き取り部の切れ味向上により植付姿勢を向上させた。また「肥料を撒く」においては施肥機の構造を一から見直し、線

り出し精度やメンテナンス性、操作性を向上させた。

このようにさまざまな基本性能の向上に取り組んだが、特に「走る」という点で深田走破性に焦点をあて、軽量化と重量バランス改善に取り組んだ。

2.1.2 資材費の低減

新たなセールスポイントの創出として、農家もあまり意識していなかった資材費(苗、肥料)に目をつけ、計画に対し10%程度余分に準備される苗や肥料の低減に取り組んだ。仮に20 haの面積を持つ農家が10%余分に準備していた苗・肥料を5%に減らすことができた場合、約15万円程度の経費が節減できる(表1)。

資材を余分に準備する主な理由は作業中のスリップにより苗や肥料の消費がばらつくことにある。

本開発では、スリップしても株間(進行方向の苗の株間距離)や施肥量を高精度に維持する「株間キープ」・「施肥量キープ」機能の構築に取り組んだ。

表1 資材費節減効果
Table 1 Material Cost Saving Effect

		苗	肥料	
				
		¥500/枚	¥125/kg	
計画量		4000枚	8000kg	予備資材費
予備量	キープ機能なし <計画量の10%>	400枚	800kg	¥300,000
	キープ機能あり <計画量の5%>	200枚	400kg	¥150,000
				-15万円

2-2 目標値

深田走破性向上のため、目標値を次のとおり設定した。

- (1)車体重量 -50 kg
- (2)前輪分担荷重 +5%

資材費低減のための開発目標を次のとおり設定した。

- (1)株間 設定値近傍となるように制御する
- (2)施肥量 設定値近傍となるように制御する

3. 解決すべき技術課題

3-1 深田走破性向上への課題

近年の田植機は大型化により機体重量が増えている。また田植えと同時に施肥・施薬・除草などの作業を可能にする同時作業機が機械後方の植付部に装着されるため、重量増加だけでなく、機械の重心位置が機械後方になってきており重量バランスが悪化している(図1)。

これらは負荷トルクの増大による車速低下を招くだけでなく、後輪が深く沈み込んで走行不能に陥ってしまうと大きな作業ロスとなる(図2)。深田走破性向上には軽量化と重量バランスの改善が欠かせない。



図1 田植機用の同時作業機
Fig. 1 Multiple Functions of Rice Transplanter

また深田走破性向上には車軸出力アップも有効であるが、出力アップのためにエンジンを大型化すると車体重量が増加するという不利な面がある。

本開発では、エンジンの大型化を図りながらも徹底した軽量化と重量バランス改善に取り組み、走破性向上を目指した。



図2 走行不能に陥った田植機
Fig. 2 Rice Transplanter that has Become Bogged Down

3-2 資材費低減への課題

図3に従来のギヤトレーンを示す。エンジンからメインHST(油圧式無段変速機)を介してトランスミッション(以下「T/M」という。)へ入力し、植付駆動と走行駆動に分岐させている。主変速レバーでメインHSTを操作することで、車速を変化させている。

植付駆動は走行駆動と連動しており、T/M内で植付変速用ギヤの多段変速により異なる株間に設定することができる。同様に施肥機の駆動も走行駆動と連動している。

圃場内で田植機は車輪がスリップしながら進んでいる。理論車速に対するスリップによるロス分の割合をスリップ率と呼び、株間や施肥量の設定値はスリップ率10%として

設計している。

スリップ率は土質や圃場深さによって変化するほか、同一圃場内でも場所により変化する。たとえばスリップ率が10%を超えた場合、設定値より株間が狭くなり面積当たりの苗や肥料の消費は増えてしまう。このようにして、実際の株間や施肥量が設定値に対し常にばらつくため、農家は計画に対し余分に苗・肥料を準備する必要がある。

この予備資材を低減するため、刻々変化するスリップ率を検出し、リアルタイムに植付、施肥機の減速比を補正する技術の開発に取り組んだ。

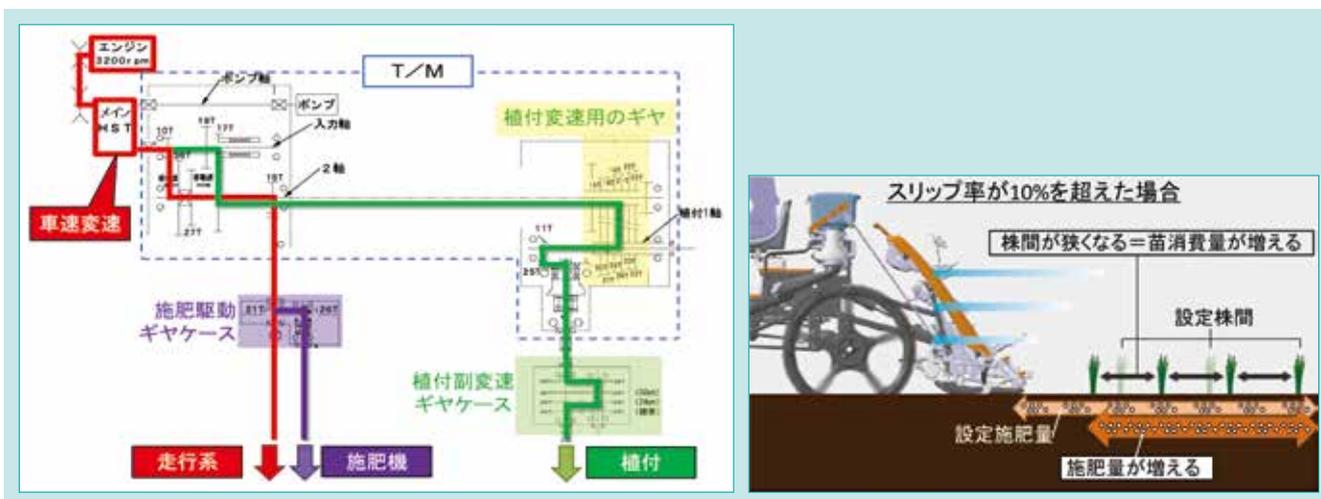


図3 従来機の動力伝達と課題
Fig. 3 Power Transmission and Issues of Conventional Machines

4. 開発技術

4-1 軽量化と重量バランス改善

4.1.1 解決策

本開発ではあらゆる部分の設計において徹底した軽量化を行ったが、中でも効果の高かった内容について述べる。

まず、メインフレームを新規設計し、従来分割式だったもの

を一体化して接続部分の部材を削減した。またステップ材料を板金から樹脂へ変更することで、約20 kg軽量化した(図4)。

次に、植付部の整地ロータについて、泥除けカバーの支持構造を見直すことで、材料を従来の板金から樹脂に変更し軽量化した。また動力の取り出しを従来は植付爪からチェーンケースだったものを、後車軸ケースからプロペラシャフトで取り出す構造へ変更することで、軽量化に加え、重量バランスの改善にも寄与した(図5)。

また、後述のミッションケース開発において、植付副変速用ギヤをミッションケース内に収めることで外付けのギヤケースを廃止し軽量化した。

さらに、後述のモータ駆動施肥機開発により、従来T/Mから動力を取り出していた伝達系を廃止し軽量化した。

これらの軽量化により開発機NW8Sではエンジン大型化を可能とし、出力トルクアップにより深田走破性を向上させることができた。

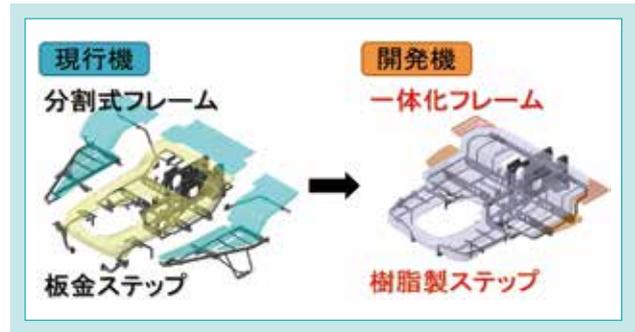


図4 メインフレームとステップの軽量化
Fig. 4 Weight Saving of Main Frame and Step

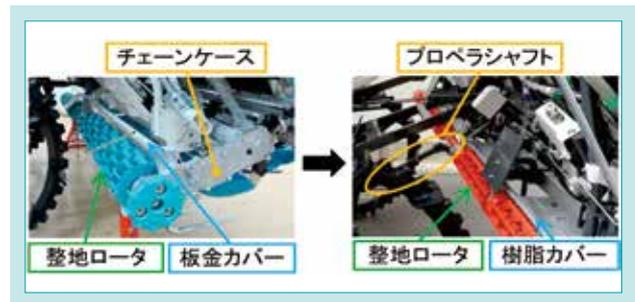


図5 植付部の軽量化
Fig. 5 Weight Saving of Planting Mechanism

4.1.2 成果

これらの取り組みの結果、機体重量は従来機比約-50kg、重量バランス改善により前輪分担荷重は約6%引き上げることができ、開発目標を達成した(図6)。

効果の検証のため、実圃場での走行比較試験を行った。深田走行中のエンジン回転数を図7に示す。黒い線はエンジンのセット回転数を示している。

走行中、回転数が落ち込んでいる箇所は、機械が前上がりになって負荷が増え、車速が低下していることを表している。このグラフから、開発機は深田走破性が向上していることがわかる。

モニターテストでは特に強湿田地区のユーザから、エンジンの心配がなくなり、ストレスなく作業できるとのご意見を多数いただいた。

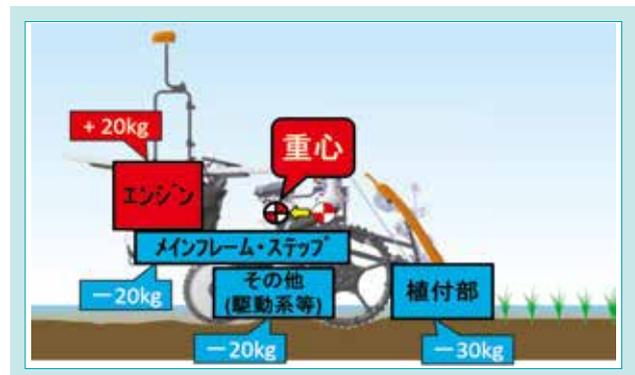


図6 重量バランスの改善 (NW8S)
Fig. 6 Improved Weight Balance

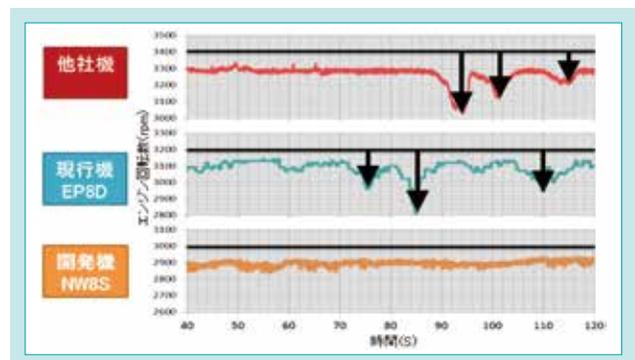


図7 深田走行中のエンジン回転数
Fig. 7 Engine Speed while Driving in Deep Rice Fields

4-2 スリップ補正対応新トランスミッション

4.2.1 課題

- (1)走行系に対し植付駆動を無段変速制御可能にする
- (2)スリップ率の取得

- (3)T/M周辺の限られたスペースで構成する
- (4)軽量化への配慮

4.2.2 解決策

- (1)T/Mから植付変速用の多段ギヤ類を廃止した。代わりに植付専用のHSTを新たに設け、メインHSTの反対側に配置し、メインHSTの出力軸を入力軸に直結させた。植付専用HSTの変速操作は、HSTを直接操作するモータユニットをシンプルに構成した(図8)。これらにより植付駆動を走行系に対し無段階に変速制御できる構成とした。
- (2)スリップ率の取得については、後車軸に設けた車軸回転センサによる理論車速のデータとGPSユニットによる実車速のデータから実際のスリップ率を算出した(図9)。

- (3)植付専用HSTへのチャージオイル供給については、メインHSTのリターンオイルを利用することで油圧回路を簡素化し、さらに油路をパイプ配管せずケース内に設けることで省スペース化に成功した(図10)。
- (4)多段ギヤ廃止で生まれたスペースには従来T/Mケース外に別付けしていた植付副変速ギヤを内蔵した。以上より、スリップ率に応じて植付HSTを制御し、スリップによる株間の変化を補正できる構成を実現した。

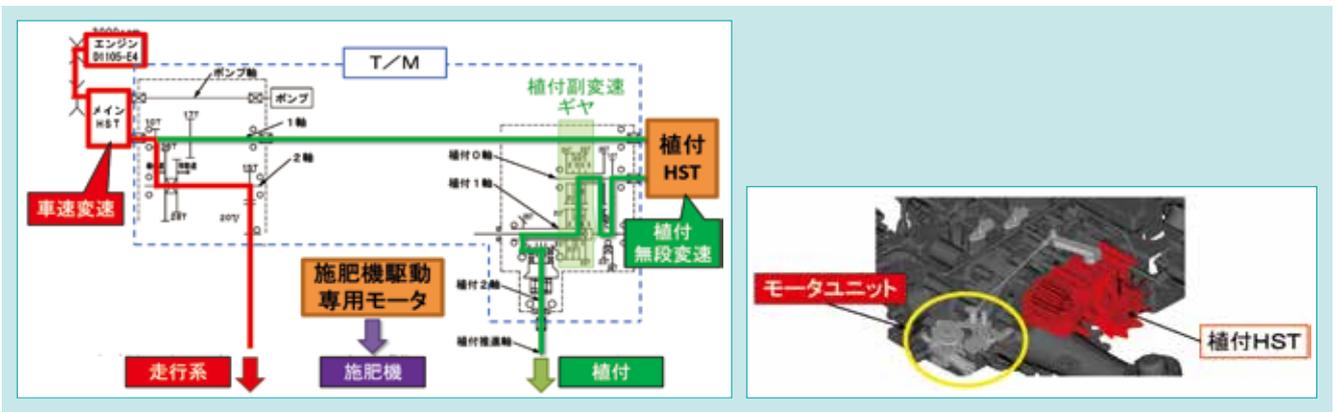


図 8 開発機の動力伝達と植付 HST 操作ユニット

Fig. 8 Power Transmission and Planting HST Operation Unit of Developed Machine

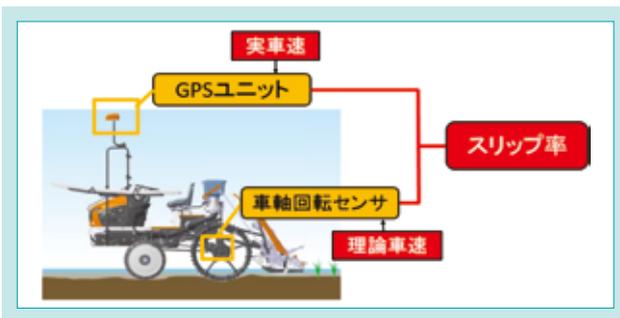


図 9 スリップ率の取得

Fig. 9 Obtaining Slip Rate

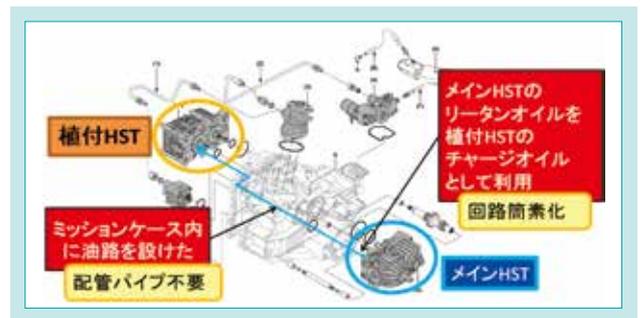


図 10 植付 HST のチャージオイルの供給

Fig. 10 Supply of Planting HST Charge Oil

4.2.3 成果

スリップ補正の効果を検証するため、各地圃場で植付試験を行った。結果を表2に示す。

地域によりスリップ率や設定株間が異なる中でも、いずれも設定株間に対し、その近傍に収まっており、開発目標を達成でき、新セールスポイント「株間キープ」機能を完成させた。

表 2 実圃場での株間測定結果

Table 2 Interval Measurement Results Obtained in an Actual Field

	秋田	韓国	北海道	新潟
土質	火山灰	砂地	泥炭	壤土・粘土
耕深	12~17cm	12~15cm	10~16cm	32~38cm
スリップ率	6.9~14.6%	8.1~12.4%	4.7~7.9%	14.2~20.6%
設定株間	21cm	18cm	11cm	21cm
実測株間	20.4cm	17.8cm	11cm	20.7cm
精度	2.9%	1.1%	0.9%	1.4%

4-3 スリップ補正対応新施肥機

4.3.1 課題

- (1)スリップ補正に加え、車速を上げ施肥機の回転数が上がると繰り出しロール溝への肥料充填率が低下し実施肥量が減少する現象があり、これを補正する必要がある(図11)。すなわち施肥機駆動を走行系から独立させる必要がある。
- (2)肥料満載で走行するとホップ内の肥料が圧縮され、直後の繰り出し開始時に大きな起動トルクが必要となる(図12)。
- (3)軽量化への配慮

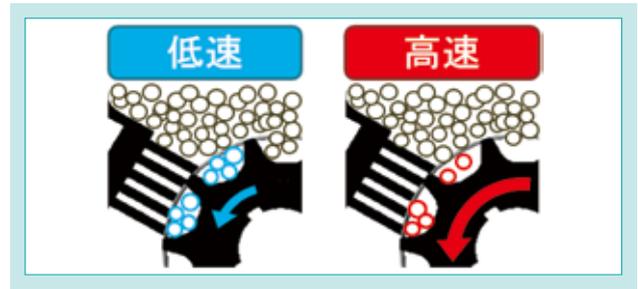


図 11 繰り出しロール溝への肥料充填率の低下
Fig. 11 Decrease in Fertilizer Filling Rate in Feeding Roll Groove

4.3.2 解決策

- (1)施肥機駆動には専用モータを採用し、スリップ影響の補正と、繰り出しロール溝への充填率変化の補正を可能とした。
 - (2)大きな起動トルクを確保するためモータの大型化を検討したが、スペース上の制約もあり困難であった。そこで別途起動時のみ作動する小型の補助モータと減速ギヤ、ワンウェイクラッチで構成したユニットを反対側に設けることで解決した(図13)。
 - (3)モータ駆動化により、従来走行から動力を取り出していた駆動系の構成が廃止でき、軽量化やコストダウンにつながられた。
- 以上より、スリップ率や車速の変化にも対応できる施肥機システムを完成させた。

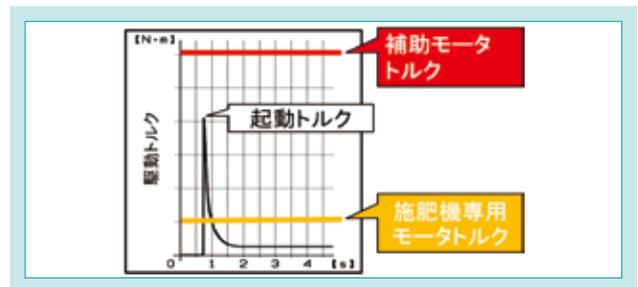


図 12 施肥機の起動トルク
Fig. 12 Starting Torque of Fertilizer Applicator



図 13 補助モータ
Fig. 13 Auxiliary Motor

4.3.3 成果

補正の効果を検証するため、実圃場で植付試験を行った。肥料は現地のものを使用した。結果を表3に示す。

圃場によりスリップ率や設定施肥量、車速が異なる中でも、いずれも設定値に対しその近傍に収まっており、開発目標を達成、新セールスポイント「施肥量キープ」機能を完成させた。

表 3 実圃場での施肥量測定結果

Table 3 Measurement Results of Fertilizer Application in an Actual Field

圃場	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
設定施肥量[kg/10a]	20	20	40	40	40	40	40	40	40	40	40
実施肥量[kg/10a]	20.5	20.2	40.2	39.9	40.1	39.5	40.2	40.7	40.0	39.2	39.6
精度	2.4%	0.8%	0.6%	-0.3%	0.3%	-1.2%	0.4%	1.8%	0.0%	-2.0%	-0.9%

5. おわりに

本開発では基本性能を向上させ担い手農家の要望に単にこたえるだけでなく、経費節減に貢献する全く新しい技術を創出した。

今後はこの技術をベースにスマート農業や無人機といったテーマに取り組んでいき、KSAS等のICT技術との融合も進め新たな付加価値創出を目指す。

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 苗・肥料の資材費低減技術により農家の所得増加に貢献
- 2.4 持続可能かつ強靱な農業の実現 深田走破性向上により田植作業能率の向上に貢献
- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 苗・肥料消費の高精度化技術確立で生産性向上に貢献

機械部門
3
国内向けディーゼル乗用田植機NW6S/8Sの開発

高速ガソリンUtility Vehicle RTV-XG850の開発

Development of RTV-XG850 Hi-speed Petrol-powered Model

ユーティリティービークル技術部/トラクタ第三事業推進部

Utility Vehicle(以下UV)の主市場である北米市場は2010年から2018年の間に市場全体の規模が約24万台から49万台と倍増するまでに成長した。この成長を牽引しているのは仕事と遊びの両用途を主体とする最高速が40 km/hを超える高速ガソリンUVの市場である。今回、事業拡大のため、クボタ製品最速となる高速ガソリンUV市場対応モデルRTV-XG850を開発し、2018年に市場投入した。この開発過程で1)米国排ガス規制に合致したクボタとしてはじめてとなる車両排出ガス認証(CARB/EPA,FTP-75(b)MODE認証)の取得、2)優れた操縦安定性確保のため、車速に応じて操舵力を適正化できる電動パワーステアリングシステムの採用と最適化、3)あらゆる使用状況において安全、また安心して車両を制御できるブレーキ耐久性の技術開発、以上3点を課題ととらえ、技術開発に取り組んだ。

【キーワード】

ユーティリティービークル、高速ガソリンUV市場、電動パワーステアリング、ディスクブレーキシステム、車両排出ガス認証、CARB/EPA FTP 75(b)MODE

The market volume in North America for utility vehicles has doubled from about 240 000 units in 2010 to about 490 000 units in 2018. The utility vehicle market is dominated by high-speed petrol-powered vehicles that are used not only on work sites but also for leisure activities. To expand its business, a decision was made for Kubota to enter the high-speed utility vehicle market. Therefore, in 2018, we released the RTV-XG850 into the high-speed petrol-powered utility vehicle market. This paper describes the following three technical development features of the RTV-XG850. 1) Emission certification with the vehicle (CARB/EPA, FTP-75(b) MODE) that was first trialled for KBT. 2) Electric power steering system for safer handling and good maneuverability. 3) Disk brake system with a strong braking force and high durability.

【Key Word】

Utility Vehicle, High-speed Petrol-powered Market, Electric Power Steering System, Disk Brake System, Emission Certification with the Vehicle, CARB/EPA FTP 75(b)MODE

関連する SDGs



1. はじめに

Utility Vehicle(以下UV)は農家の移動手段や荷物の運搬、工場内・建設現場の見回り、レジャーなどで使われる多目的運搬車である(図1)。UVの主市場である北米市場は2010年から2018年の間に市場全体の規模が約24万台から49万台と倍増するまでに成長した¹⁾。この成長を牽引しているのは仕事と遊びの両用途を主体とする最高速40 km/hを超える高速ガソリンUVの市場である。



図1 ユーティリティービークル
Fig. 1 Utility Vehicle

クボタのUV事業は2004年RTV900の発売以降、仕事での使用を主体とした最高速が40 km/h以下のPure Utility Vehicle(以下 PUV)と呼ばれるワークサイト向け市場において約4割のシェアを維持している。現状クボタが有する製品ラインナップは全てPUVのカテゴリに分類され、ディーゼルエンジン・油圧式無段変速トランスミッション(Variable Hydraulic Transmission, 以下VHT)を搭載した

機種が販売台数の約8割を占めている。2013年から2015年にかけてディーゼル・VHT仕様のフルモデルチェンジとなるRTV-Xシリーズ4機種を市場投入し、PUV市場でのシェアを維持している。しかしながら、成長を続けているUV市場の中でPUV市場規模の伸びは小さく、UV事業拡大のためには高速ガソリンUV市場への本格参入が必要であった。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

クボタUV事業拡大のため、未参入であった高速ガソリンUV市場対応、クボタ製品最速モデルであるRTV-XG850の車両開発を行った(図2)。この高速ガソリンUVに対する「法規」や「規格」を遵守し、クボタ製品としてお客様に期待される「信頼性・耐久性」の確保を開発コンセプトに掲げ、製品開発に取り組んだ。



図2 RTV-XG850
Fig. 2 RTV-XG850

2-2 目標値

- 1) 米国排ガス規制に合致した車両排出ガス認証の取得(CARB/EPA,FTP-75(b)MODE認証)
- 2) 高速における優れた操縦安定性の確保

- 3) あらゆる環境で安全に使用可能な制動装置

以上3点を開発目標と設定し、前述のコンセプト達成を目指した。

3. 解決すべき技術課題

1) 車両排出ガス認証の取得

最高車速が40 km/h以上のため、米国排出ガス規制によりエンジン単体での認証取得ではなく、車両を含めた車両排出ガス認証(CARB/EPA,FTP-75 (b)MODE認証)の取得が必須である(図3)。この車両排出ガス認証取得はクボタとして初めての対応であり、また認証適合のためには従来のエンジン単体認証のガソリン機種とは異なる排気系車体レイアウトの最適化が必要であった。

2) 高速における優れた操縦安定性の確保

RTV-Xシリーズで採用している「全油圧パワーステアリングシステム」や、RTV400・500で採用している「マニュアルステアリングシステム」では、車速に関係なく操舵力が決まる場合や、ある条件で操舵力が過大となる場合があり、高速走行時に不安定な操縦安定性能を示してしまう。市場要求を満たす、高速走行時の優れた操縦安定性確保のためには、新たなステアリングシステムの採用が必要であった。

3) あらゆる環境で安全に使用可能な制動装置

UVはアスファルト舗装路の走行だけでなく、農場や牧場

などの未舗装の不整地で使用されることから、車両全体の耐久性能要求が高い。一般的に消耗部品として扱われているブレーキパッドにおいても、近年自動車と同じように耐久性が要求されており、耐久性能の向上が重要な技術課題となっている。しかしながらアスファルト舗装路での耐久性能が確保されたブレーキパッドを用い、未舗装の不整地走行でのパッド耐久性を確認した結果、ブレーキパッドの早期摩耗が発生し、この課題解決が必要であった。

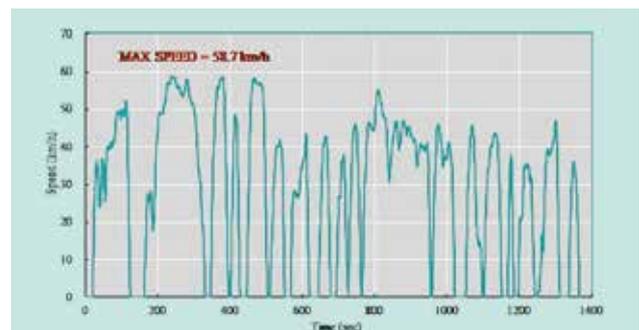


図3 FTP-75(b)MODE
Fig. 3 FTP-75(b)MODE

4. 開発技術

4-1 排気系車体レイアウトの最適化

車両排出ガス認証に適合するため、排気経路上に三元触媒、O2センサといった部品を新規採用した。これら新規部品を有効機能させるために、次の対応策を実施し、認証取得を実現した。

- ①排気管長の最適化
- ②コストアップを抑えた三元触媒配置
- ③遮熱・保温に配慮し、コストを抑えた設計

①では、排気干渉による排気効率の低下を避け、エンジン低回転域でのトルクアップのために排気ポートからエキゾーストパイプ合流箇所まで800 mmの独立区間を設けるレイアウトとした(図4)。

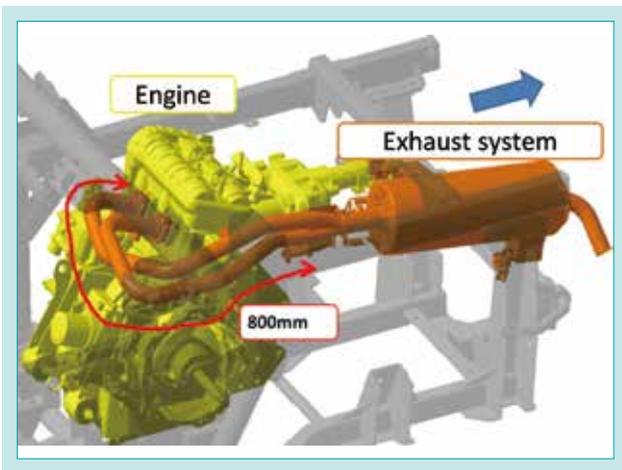


図4 排気管レイアウト
Fig. 4 Exhaust Pipe Layout

②では、三元触媒の配置をエキゾーストパイプ合流後のマフラ内に配置することで触媒とマフラの個別搭載によるコストアップを回避した(図5)。

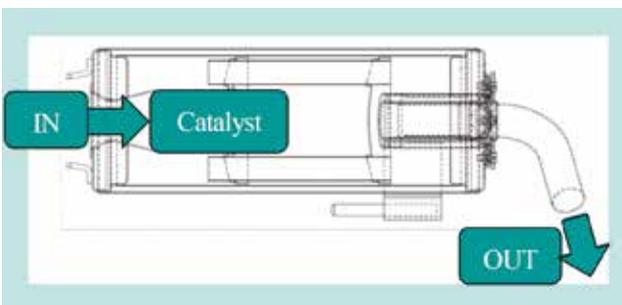


図5 三元触媒レイアウト
Fig. 5 Three-way Catalyst Layout

③では、三元触媒が触媒反応によって排ガス中の有害成分を分解するには触媒表面を300°C以上に保つ必要がある。このため、エンジン排気ポートからマフラ内三元触媒までの経路での温度低下を防ぐための遮熱構造が必要である。

先述のエキゾーストパイプ独立区間長さ確保の為に、エキゾーストパイプ部は3次元曲げの複雑な形状となり、エキゾーストパイプに直接マウントする遮熱カバーでは複雑な形状になり、高コストとなってしまう。

そこで、遮熱板を排気経路に直接取り付けのではなく、排気管からクリアランスを設けて車体フレームに取り付ける方法を採用することでコストアップを回避し、触媒活性温度を確保した(図6)。また、触媒活性温度維持のため、マフラ胴部にグラスウールを内蔵し、さらに遮熱・保温効果を高めた(図7)。

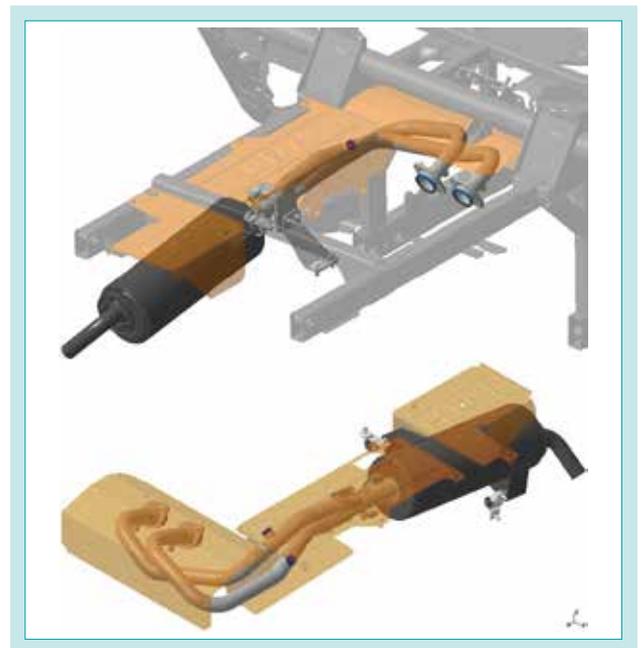


図6 遮熱板レイアウト
Fig. 6 Heat Shield Layout

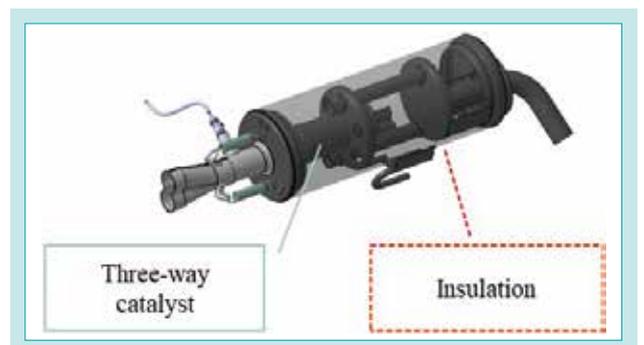


図7 マフラ遮熱レイアウト
Fig. 7 Insulation Layout Inside the Muffler

4 - 2 電動パワーステアリングシステムの採用と最適化

4.2.1 現行システムとその課題

RTV-Xシリーズなどで採用している「全油圧パワーステアリングシステム」は、エンジンに取り付けられたギアポンプにより常に一定圧の油がステアリングユニットへ供給され、ステアリングを操作すると、その回動量に応じた油がステアリングシリンダに送られ、タイヤを回動させる油圧アシストシステムである。

RTV400・500で採用している「マニュアルステアリングシステム」は、ステアリングがシャフトを介して、ラック&ピニオンが搭載されたギアボックスと機械的に接続され、操舵量に応じてタイヤを回動させるシステムである。

「全油圧パワーステアリングシステム」は、油圧の強力なアシストによる軽操舵が可能であり、重積載時なども容易に車両操作が可能である。しかしながら、ステアリングシリンダを押し力がポンプ圧力によるため、車速に応じた操舵トルクの調整が容易に行えず、高速走行時でも低速走行時と同等の操舵力となり、微調整が難しい。

「マニュアルステアリングシステム」は、タイヤとステアリングが機械的につながっているため、路面の状態が運転者に伝わりやすく、自身が操舵しているという実感を運転者が得られる。

しかしながら、アシスト機構が取り付けられていないことから、操舵トルクが大きくなりやすく、極低速時など非常に重くなる。

以上より、どちらのステアリングシステムも高速型UV市場要求には合致しておらず、クボタ製品としてユーザーに信頼される操縦安定性能実現のためには、「全油圧パワーステアリングシステム」及び「マニュアルステアリングシステム」両方の長所を含んだ新たなステアリングシステムが必要であった。

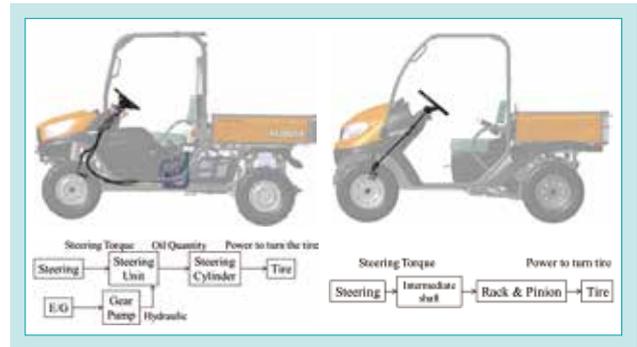


図8 現行システム
Fig. 8 Current System

4.2.2 電動パワーステアリングシステムの最適化

マニュアルステアリングシステムにアシスト機構を設け、電子制御により車速に応じてアシスト量を変更できる「車速感応型電動パワーステアリングシステム」を新規で採用し、アシスト量制御マップを最適化することで高速化に対応した操縦安定性能の向上に取り組んだ。(図9)。

アシスト量制御マップとして、次の2種類の制御マップ適

合を実施した。

- ①ベースアシストマップ: 車速と入力トルクに応じて、モータ基本アシスト電流を決定する制御マップ適合
- ②ダンピング制御マップ: 操舵速度を低速、中速、高速の3段階に区分し、その段階に応じてアシスト電流の低減を行う制御マップ適合

①②の適合結果として、車速、操舵速度ごとの操舵トルクの関係を図10に示す。車速と操舵速度が上がるに従い操舵トルクが増加し、急操舵を抑制できる、高速化に対応した操縦安定性能を実現した。

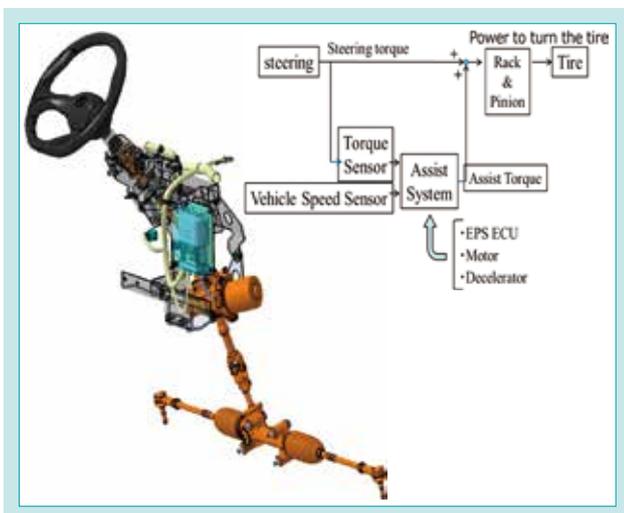


図9 電動パワーステアリングシステム
Fig. 9 Electric Power Steering System

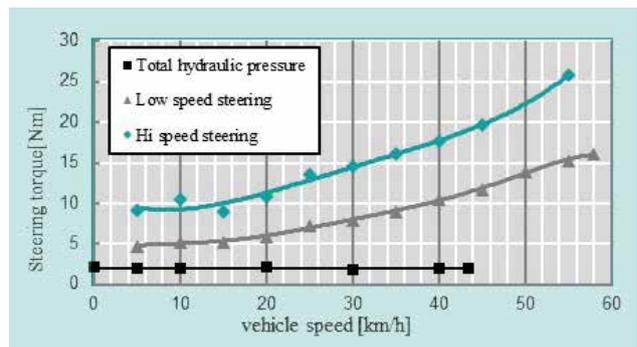


図10 各車速に応じた操舵トルク適合結果
Fig. 10 Steering Torque Result for Each Vehicle Speed and Steering Speed

4-3 乾式ディスクブレーキ性能開発

4.3.1 不整地走行時のパッド早期摩耗 課題分析

舗装路走行時は発生せず、不整地走行時のみで発生することから、不整地特有の原因があると推測し、早期摩耗が発生したブレーキパッドを確認すると、以下の特徴が確認された(図11)。

- パッド材料間に多量の土砂が堆積
- パッド表面の引っかき傷



図 11 土砂堆積パッド
Fig. 11 Mud Sediment Pad

上記特徴より、不整地走行特有の泥水路走行時にブレーキディスクに飛散した泥水・土砂がブレーキディスクとパッド間に浸入し、摩耗を促進させていると推測した。そこで泥水路走行時のディスク、キャリパ周辺での泥水の流れを実車にて目視確認した結果、泥水がホイールによって掻き上げられることによりディスク・キャリパに飛散し、土砂が侵入している事が判明した(図12)。



図 12 泥水走行時の泥水流れ
Fig. 12 Muddy Water Flow

4.3.2 対応策①: 被水防止ディスクカバーの新設

泥水路走行時に侵入する泥・土砂を防止することで課題が改善されると考え、ブレーキディスク内側にディスクを覆うような形のカバーを新設した。これにより、泥水走行時に掻き上げられた泥・土砂の侵入を低減でき、ブレーキパッド摩耗量を8.3%改善させた(図13)。



図 13 ディスクカバーレイアウト
Fig. 13 Disk Cover Layout

4.3.3 対応策②: 耐土砂摩耗ブレーキパッド新材の開発

複数種のブレーキパッドでの評価において、ブレーキパッド材料違いが摩耗量に影響を与えることが明らかとなった。パッド材料の配合成分や含有率の違いに原因があると推定し、エネルギー分散型X線分析を用いてパッド材料の配合成分や含有率と耐土砂摩耗の関係を調査した。その結果、土砂摩耗に対して効果がある配合成分はCuであり、その成分含有率を最適化することでブレーキパッドの耐土砂摩耗性能をさらに32.9%改善させた。

5. おわりに

クボタとして初めての試みであった車両排出ガス認証(CARB/EPA,FTP-75(b)MODE認証)の取得のため、従来のガソリン機種とは異なる排気系車体レイアウトの最適化に取り組み、認証を取得した。クボタ製品最速モデルである高速型ガソリンUV RTV-XG850の車両開発を達成し、2018年に高速型ガソリンUV市場への参入を果たした。

開発コンセプトとして掲げた、クボタ製品としてお客様に期待される「信頼性・耐久性」の確保として、操縦安定性の部分において、全油圧パワーステアリングシステムとマニュアルステアリングシステムの長所を含んだ、車速感応型電動パワーステアリングシステムを新規に採用した。アシスト量制御マップを適合することで高速化に対応した操縦安定性能を実現できた。制動性能の

部分において、あらゆる使用状況において安全に安心して車両を制御でき、あらゆる環境で継続使用可能な耐久性能を目標とし、被水防止用ディスクカバーの新設、およびブレーキパッド材料成分含有率の最適化によって目標性能を実現した。

今回開発したRTV-XG850はRTV-Xシリーズがベースであり、2名乗員車のみを市場導入した。しかし高速型ガソリンUV市場では、2名乗員車だけでなく3名乗員、2列シートなど多くの車種が開発されており、より高速域のモデルも多数存在している。今後製品展開が必要となる中で、今回実現した技術を基礎として、さらなる技術開発に努めることにより、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。

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 従来機に比べ最高速60%アップにより生産性が向上

11.3 包括的かつ持続可能な居住計画・管理能力の強化 北米、大洋州の50地域以上で農畜産業の発展に貢献

参考文献

1) Power Products Marketing UV 2017

Development of Sugarcane Leaf Remover SLR110H

トラクタ用サトウキビ葉除去インプラメント SLR110H の開発

Sugarcane is one of the major crops in Asian countries. The sugarcane harvesters currently being used in the agricultural sector are imported from Europe; however, they are not popular because of high yield loss and a high degree of leaf contamination. Moreover, these machines are also expensive. Therefore, most harvesting (around 83%) is still done by hand and before harvesting the sugarcane leaves are removed by burning. But burning not only affects the farmer's income from yield loss and reductions in the selling price, but it also causes the problem of air pollution (PM2.5). This has become such a serious problem in Thailand that the government has announced a "zero burn" policy to combat pollution.

Therefore, Kubota Research and Development Asia (KRDA) has developed SLR110H to support the "zero burn" policy and help save the environment. Now, the sales volume of SLR110H is increasing steadily and we expect to export to every country throughout Asia.

【Keyword】

Sugarcane Leaf Remover, Roller, Trimmer

KUBOTA Research and Development Asia Co., Ltd.

サトウキビはアジアの中で経済性の高い主要作物である。サトウキビ収穫には、欧州から輸入したシュガケーン・ハーベスタが使われているが、収穫ロスが多いこと、コンタミが多いこと、価格が高いことから台数は多くない。現在、主に人手によって収穫されており、その割合は約83%となっている。人手による収穫は重労働のため、収穫前にサトウキビの葉焼きが一般的に行なわれている。しかしながら、葉焼きによる収穫重量の減少と製品価値の低下が課題となっている。さらに現在タイではPM2.5による大気汚染の問題が拡大しており、農作業の野焼きが主な要因となっている。タイ政府は本問題の解決のため、「ゼロ・バーン(野焼きゼロ)」政策を掲げている。そこでクボタ・リサーチ アンド ディベロップメント・アジア(以下KRDA)は、「ゼロ・バーン」政策と環境保全に対応したSLR110H シュガケーン・リーフ・リムーバを開発した。現在、SLR110Hの販売台数は継続的に伸びており、さらにアジア各国への輸出を拡大している。

【キーワード】

サトウキビ葉除去インプラメント、ローラ、トリマ

Related SDGs



1. Introduction

World sugarcane production has been rising continuously from 1796 to 1919 million tons and estimated to reach 2034 million tons in 2023. Thailand sugarcane production has also been rising from 101 to 111 million tons repeatedly and expected to be reach 120 million tons in 2023 (Fig.1).

Currently, sugarcane harvesting in Thailand mostly harvested by human labor that is a very hard work. To reduce harvesting difficulty, the most popular process is burning sugarcane to remove leaves before harvesting.

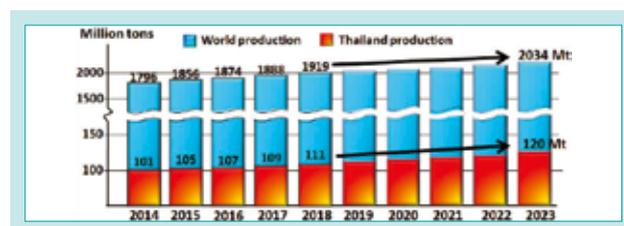


Fig. 1 Global and Thailand Sugarcane Production

図1 世界とタイのサトウキビ生産量

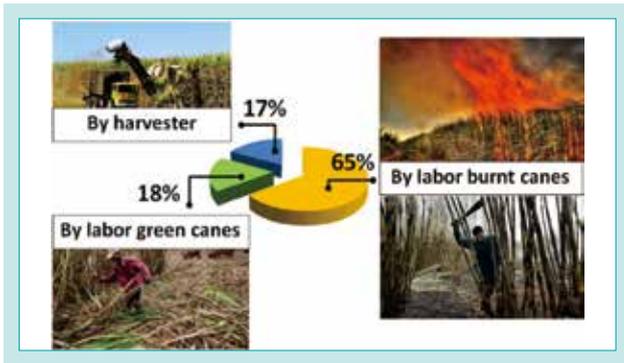


Fig. 2 Sugar cane Harvesting Process

図2 サトウキビ収穫工程

In conclusion, each of the sugarcane harvesting processes should be considered about how to “Save Environment”, “Maintain Sugarcane Yield and Quality” and “increasing Working Capacity” respectively.

To Save Environment, maintain Sugarcane Yield and Quality, we aim to terminate harvesting method both 'harvesting the burnt sugarcane by human labor'

The impacts of each method of harvesting in Thailand are as follows (Fig. 2);

- 1) Harvesting the burnt sugarcane by human labor 65%
 - Hard work, air pollution, high contamination of leaves, yield loss and selling price deducted.
- 2) Harvesting the fresh sugarcane by human labor 18%
 - Hard work, unable to be finished in season due to low working capacity
- 3) Harvesting by harvester machine 17%
 - High yield loss, high contamination of leaves, high machine price (unaffordable)

and 'harvesting by machine'. To achieve these target, harvesting the fresh sugarcane by human labor is the best solution. Therefore we have to develop sugarcane leaf removing machine to change hard work into light work, to increase working capacity. Then finally, the overall concerning difficulties can be resolved.

2. Development Concept and Target Value

2-1 Development Concept

SLR110H was developed by KRDA to match with B-series tractor which is the only series that can be used as an inter-row maintenance work in the sugarcane field.

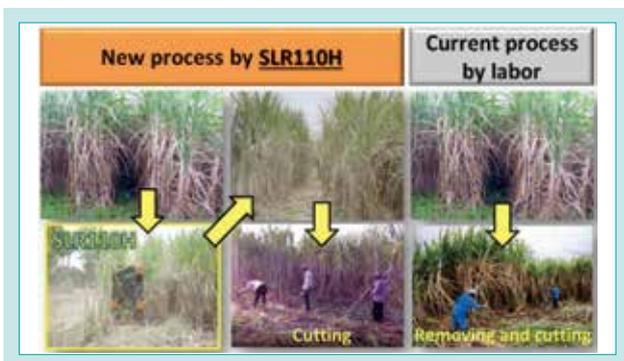


Fig. 3 Development Concept

図3 開発の狙い

Main objective of SLR110H is to be used instead of manual leaves removing by labor in pre-harvesting process in Fig.3.

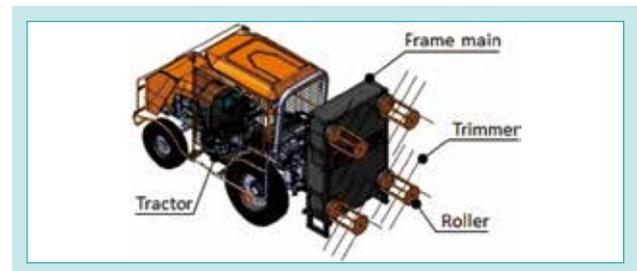


Fig. 4 Overall Structure of SLR110H

図4 SLR110H 全体構造

Overall structure of SLR110H as shown in Fig. 4 by main structure of SLR110H consist of main Frame, Roller and Trimmer. Breaking leaves by use rotating trimmer.

2-2 Target Value

KRDA have developed SLR110H for Kubota tractor with 3 target values as below.

- 2.2.1) Must be able to remove leaves to create enough labor's working area to cut sugarcane. Design Target : achieve required working area $\geq 100\%$.
 - 2.2.2) Must be able to breaking leaves by rotating trimmer. Design Target : trimmer's impulse force $>$ required breaking leaves force.
 - 2.2.3) Must be able to complete sugarcane leaves removing along the row by rotating trimmer.
- SLR110H works inter rows of sugarcanes to

remove leaves as shown in Fig. 5.



Fig. 5 Typical Working View of SLR110H

図5 SLR110H の作業状況

3. Technical challenge to be solved

In order to achieve high quality leaves removing target. First, create layout of Roller and Trimmer to get leaves removing area more than labor's working area when harvest green sugarcane. (Fig.6)



Fig. 6 Adequate Removing Area
図 6 適切な除去エリア

Second, to find breaking leaves force at each sugarcane height, and then select Roller and Trimmer specification.

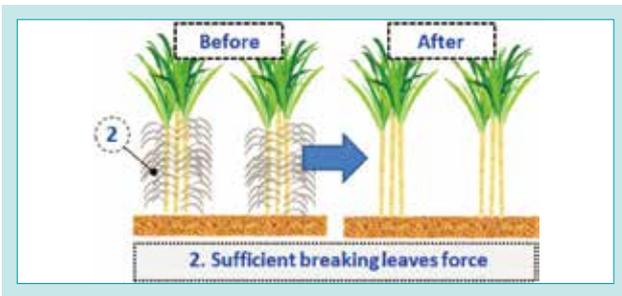


Fig. 7 Sufficient Breaking Leaves
図 7 葉を除去するために必要な力

Target is SLR110H must be able to generate impulse force more than maximum breaking leaves force. (Fig.7)

Third, the big challenge is SLR100H must be able to completely remove leaves along the sugarcane row. So, we consider kinematic models of trimmer. Key factors to achieve zero gaps are tractor velocity, trimmer revolution, trimmer width, number of trimmer in each section and number of trimmers' section. (Fig.8)

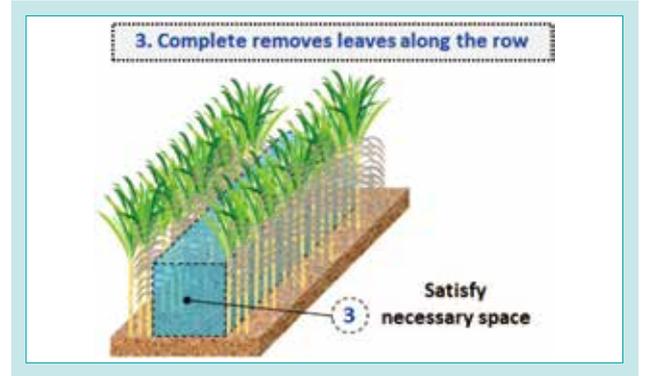


Fig. 8 Completely Removes Leaves Along the Row
図 8 列に沿って完全に除去する技術

4. Developed Technology

4-1 Adequate removing area development

The first technology, Leaf removing structures are consisting of Roller and Trimmer. Its removes leaves from sugarcane by using rotating roller with trimmer to hit the leaves. Then, removing area is the sweeping area of trimmers. (Fig.9)

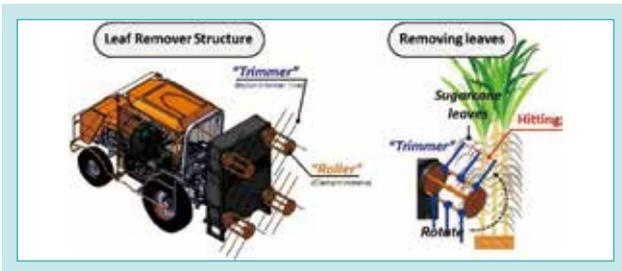


Fig. 9 Diagram Showing Leaf Removal
図 9 葉を除去する原理

Next, design the roller diameter to prevent sugarcane leaves wrap around the roller by using Eq. [1]

$$\text{Roller circumference} = 2\pi(D/2) > L_{\max} \quad \text{Eq. [1]}$$

From research, we can find maximum sugarcane leaf length L_{\max} . So, we will know minimum roller

diameter.

From maximum width of B-series tractor, If we create 4 rollers at minimum diameter. Removing area of trimmer are incomplete removing area and can't be achieved the target. because of the limitation of trimmer hitting together.

To solve this problem, we create new technology called "Zig-Zag" design by arranging 'overlap trimmer line' at the intersection of diagonal to Maximize extension length. Finally, we can increase leaves removing area and achieve customer requirement as shown in Fig.10.

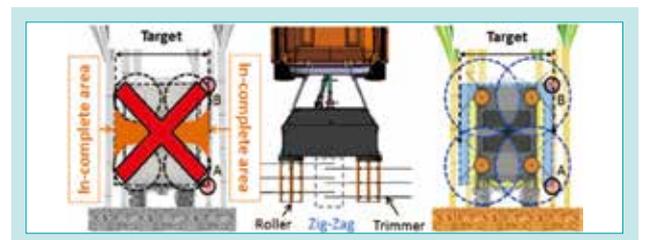


Fig. 10 Layout of Zig-zag Trimmer Design
図 10 トリマジグザグ配置

4-2 Sufficient breaking leaves revolution

From model: Impulse force (F) > Breaking leaf force (f)
 Impulse force (F) was generated by trimmer and
 Breaking leaf force (f) is the force that can separate leaf
 from sugarcane. We calculate impulse force (F) from Eq. [2].

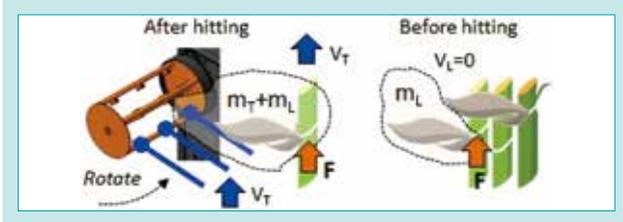


Fig. 11 Free Body Diagram of Force Required
 図 11 葉を除去する力

$F = (m_T + m_L) V_T - (m_L) V_L / \Delta t \dots \text{Eq.}[2]$
 F = impulse force from trimmer
 m_T = trimmer mass, m_L = leaf mass, Δt = time
 V_T = trimmer velocity, V_L = initial leaf velocity
 From Free body diagram of trimmer (Fig.11, 12).
 We can find V_T trimmer velocity from Eq. [3].

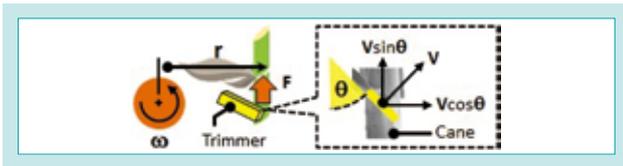


Fig. 12 Free Body Diagram of Trimmer Velocity
 図 12 葉を除去するトリマ速度

$V_T = V \sin \theta = \omega \cdot r \cdot \sin \theta \dots \text{Eq. [3]}$
 ω = roller revolution, r = hitting radius, θ = hitting angle
 Compound Eq. [2] with Eq. [3]. We can find the minimum roller revolution as Eq. [4]

$$\omega = (F \Delta t) / \{ (m_T + m_L) r \cdot \sin \theta \} \dots \text{Eq.}[4]$$

The model: Impulse force (F) > Breaking leaves force (f)
 From Thai Agricultural Research Journal 2016,
 breaking leaves force at each sugarcane height is
 shown on Fig.13.

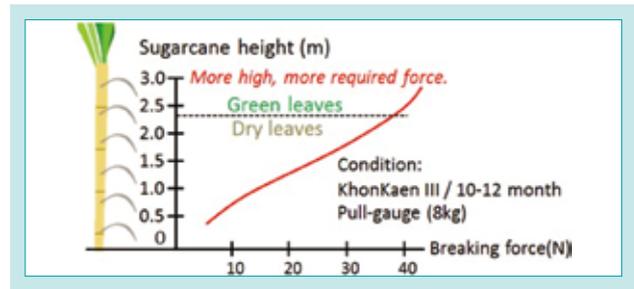


Fig. 13 Relationship Between Breaking Force and Sugarcane Height
 図 13 サトウキビ高さや葉除去力の関係

Then, apply breaking leaf force (f) into (F) in Eq. [4]. We can find the minimum roller revolution at the upper roller as shown on Fig.14.

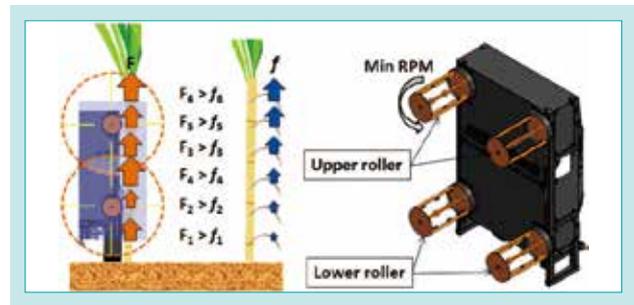


Fig. 14 Free Body Diagram & Roller Revolution Table
 図 14 葉を除去するためのローラ回転数

Finally, we design transmission system (Fig. 15)
 by using the suitable size of pulley. It can generate
 force which more than target and sufficient for
 breaking leaves all of sugarcane height.

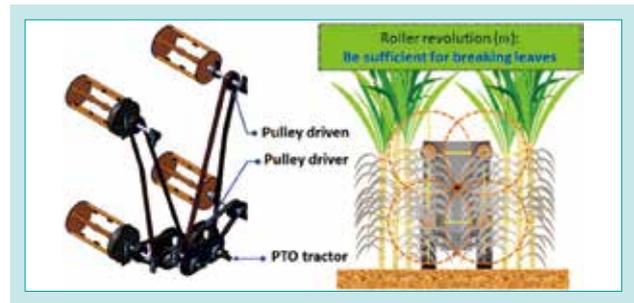


Fig. 15 Transmission with Sufficient Breaking Force
 図 15 トランスミッション構造

4-3 Complete removing leaves along the row

Consider kinematics model of leaves removing
 by using one trimmer. Then, we found tip gap as
 shown in Fig.16

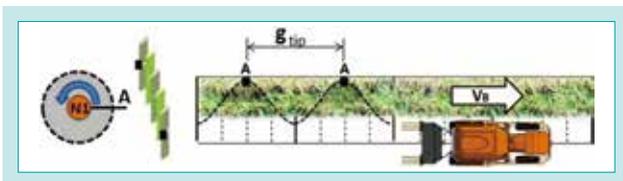


Fig. 16 Kinematics Model of 1 Trimmer
 図 16 1本のトリマの運動学モデル

We calculate tip gap from Eq. [5]

$$g_{tip} = \text{Tip gap (mm/turn)} = V_B(1/\omega) \dots \text{Eq. [5]}$$

g_{tip} = Tip gap, V_B = tractor velocity, ω = roller revolution

Then consider kinematics model of leaves
 removing by using four trimmers. Tip gap are as
 shown in Fig.17.

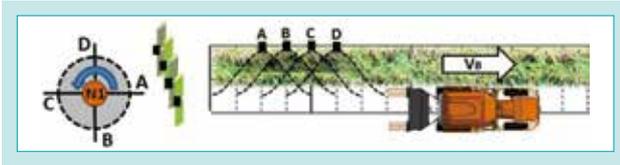


Fig. 17 Kinematics Model of 4 Trimmers
図 17 4本のトリマの運動学モデル

By using four trimmers, we still cannot fulfill tip gap. So, we also consider number of roller section. Hitting position of each trimmer is depending on pitch between sections (P) as shown in Fig. 18.

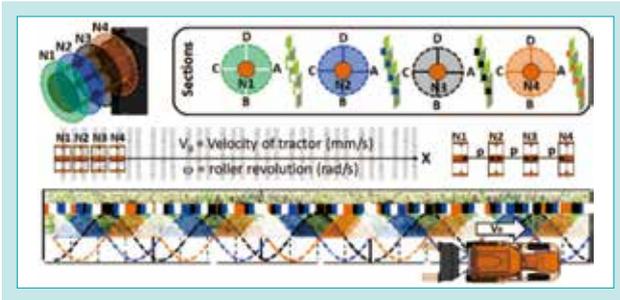


Fig. 18 Kinematics Model of 4 Trimmers & 4 Sections
図 18 4本のトリマ×4セクションの運動学モデル

$$X_{N1} = V_B(1/\omega) \cdot \text{turn} \quad \dots \text{Eq. [6]}$$

$$X_{N2} = V_B(1/\omega) \cdot \text{turn} + p \quad \dots \text{Eq. [7]}$$

$$X_{N3} = V_B(1/\omega) \cdot \text{turn} + 2p \quad \dots \text{Eq. [8]}$$

$$X_{N4} = V_B(1/\omega) \cdot \text{turn} + 3p \quad \dots \text{Eq. [9]}$$

Gap fulfillment model:

$$\text{Gap}(g) = V_B(1/\omega) - \{W_{N1}\} - \{W_{N2}\} - \{W_{N3}\} - \dots \quad \text{Eq. [10]}$$

V_B = tractor velocity

W_N = removing width per turn

Consider sizes of trimmer and clamp trimmer in Fig. 19.

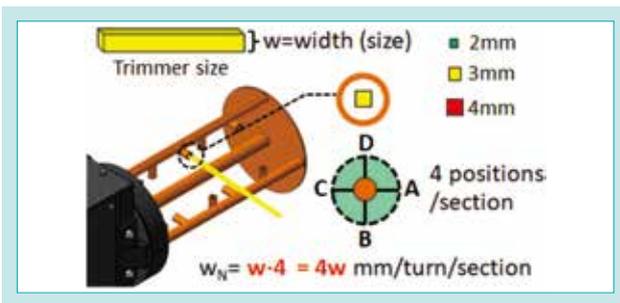


Fig. 19 Trimmer Layout
図 19 トリマの構造

Next, we find perfect pitch between sections (P) that fill more gap and do not duplicated by use equation Eq. [11].

If pitch design is bad, trimmer will repeat at the same point of others.

$$P = \{(1/(4N)) + (1/4)\} \cdot g_{\text{tip}} \quad \dots \text{Eq. [11]}$$

The result of gap percentage is shown in Fig. 20. We selected roller 3 and 4 sections which can make

zero gap with trimmer all sizes.

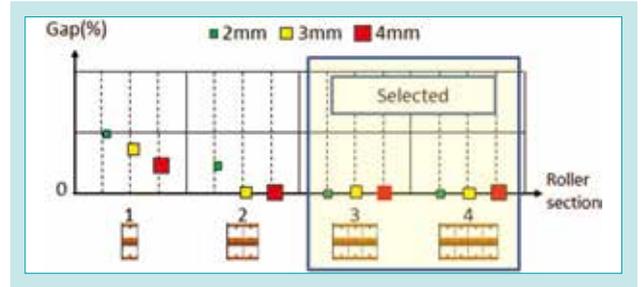


Fig. 20 Gap Results
図 20 トリマ構造とギャップの関係

Moreover, we consider belt slip and trimmer damage. Found roller 3 sections with trimmer 2 mm don't pass target of gap overlap.

We choose the best design by compare total power consumption from removing power consumption and Drag power consumption in Eq. [12], Eq. [13] & Eq. [14]

$$\text{Power}_R = \int F \, dR \cdot \omega \cdot k_1 k_2 \quad \dots \text{Eq. [12]}$$

$$\text{Power}_D = (1/2)\rho \cdot V^3 \cdot A \cdot C_d \quad \dots \text{Eq. [13]}$$

$$\text{Power}_{\text{Total}} = \text{Power}_R + \text{Power}_D \quad \dots \text{Eq. [14]}$$

F = breaking leaves force, ω = roller revolution

k_1 = leaves quantity factor

k_2 = hitting sugarcane factor

ρ = air density, V = trimmer velocity

A = total area of trimmer, C_d = drag coefficient

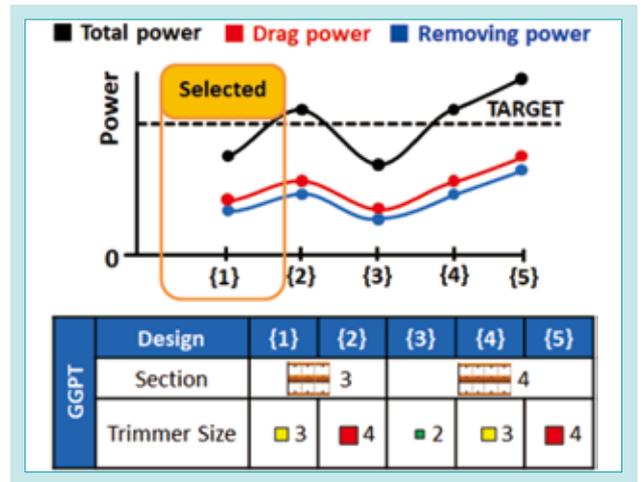


Fig. 21 Comparison of Total Operating Power and Roller Design
図 21 作業出力とローラの設計

By these equations, we can find total power consumption of each design {1} – {5}. And compare results with our target as shown in Fig. 21. Finally, we select design {1} that are 3 sections, trimmer width 3 mm because of less consumption and less cost.

5. Conclusion

5-1 Evaluation of product

- 5.1.1) Adequate removing area development: from designed layout of roller and trimmer line by use zig-zag type.
- 5.1.2) Sufficient breaking leaves revolution: from designed minimum revolution must be enough to break leaves.
- 5.1.3) Complete removing along the row: consider kinematics model of removing, gap fulfillment and design the best trimmer size and number of roller section.

From this product evaluation, SLR110H achieved all targets as shown in Table 1.

Table 1 Product Evaluation

表 1 製品評価

Items	Result	Evaluate (Target > 100%)
Adequate removing area development	162%	●
Sufficient breaking leaves revolution	105%	●
Complete removing along the row	149%	●

5-2 Effect to business

SLR110H start sale on Dec 2018. The achievement of this development will contribute the expansion of Siam Kubota Corporation Co., Ltd. (SKC) implement and tractor business in sugarcane crop as show on Fig. 22.

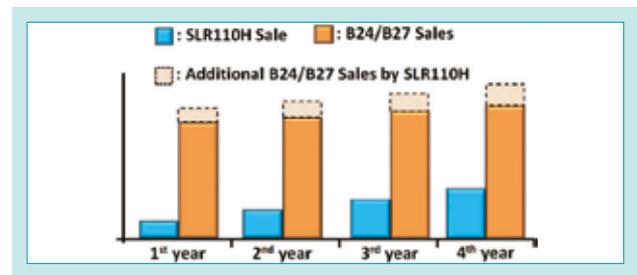


Fig. 22 Sales Volume of SLR110H and Tractor

図 22 SLR110H とトラクタの販売台数

5-3 Next activity

To study the benefit of SLR110H used in maintenance phase with the sugarcane aged around 7-8 months by 10 field experiment test compared the yield with no use of SLR110H. It is found that the productivity was increased in all fields as shown on Fig. 23. This is because there are better air flow between leaves and sun light intensive on to the sugarcane. Moreover some of insects between leaves and sugarcane could be reduced.

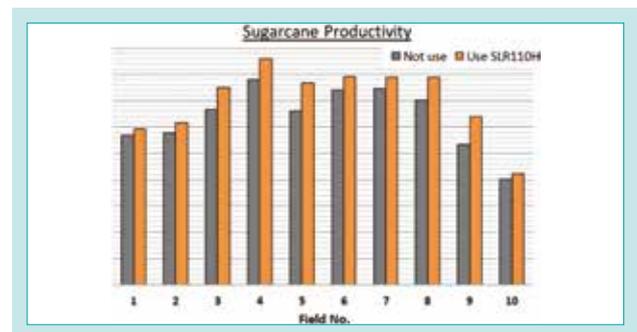


Fig. 23 Sugarcane Productivity After Use in Maintenance Phase

図 23 中間管理作業での使用効果

Contribution to SDG Targets

2.3 Increasing agricultural productivity and income

8.8 Promote safe and secure working environments

Removing leaves instead of burning increases yields more than 10% and makes better sugarcane price for Thai's farmer. Contribution to reduce burning in sugarcane industry that one of major cause PM2.5 air-pollution in Thailand

Reference

- 1) FAO ; <https://stats.oecd.org/index.aspx>
- 2) Thai Agricultural Research Journal, 2016
- 3) Hibbeler, Russell C.(2010).Engineering Mechanics (12th ed.). Pearson Prentice Hall. p. 222. ISBN 0-13-607791-9.
- 4) Tipler, Paul (2004). Physics for Scientists and Engineers: Mechanics, Oscillations and Waves, Thermodynamics (5th ed.). W. H. Freeman. ISBN 978-0-7167-0809-4.
- 5) Serway, Raymond A.; Jewett, John W. (2004). Physics for Scientists and Engineers (6th ed.). Brooks/Cole.

Development of High Capacity Pneumatic Seed Delivery System

大容量空気圧種子供給システムの開発

Great Plains Manufacturing, GP Engineering

The mechanization of global agriculture has increased competition in the marketplace, and as a result more efficient and productive technologies are needed. Higher planting speeds improve efficiency but require more capacity from pneumatic seed delivery systems. Planting while the planter is turning using conventional drive technologies causes incorrect plant spacing as the outside rows of the planter travel a larger distance than the inside rows. The Great Plains PL5000 series of planters incorporate numerous developments that improve user efficiency and yields. The pneumatic seed delivery system was designed to increase the maximum planting speeds and crop types that it will support. The seed meter drive controller provides turn compensation with automatic adjustments across the planter width to maintain correct plant spacing whether near the center or outside of the turning radius.

【Keyword】

Pneumatic Seed Delivery, Turn Compensation, Planter, Precision Drill, Computational Fluid Dynamics

グローバルな農業機械化は、市場競争が激化しており、その結果、より効率的で生産性の高い技術が必要になっている。植付け速度が速いほど効率は向上するが、空気圧種子供給システムの能力がより必要となる。プランタの旋回時、外側の列がプランタの内側の列よりも長い距離を移動するため、従来の駆動技術で植付けると、植付け間隔にばらつきが生じてしまう。Great Plains PL5000シリーズのプランタには、ユーザの効率と収量を向上させる複数の開発が含まれている。空気圧種子供給システムは、最大植付け速度と対応できる作物の種類を増やすように設計した。シードメータドライブコントローラは、プランタの幅全体で自動調整による回転補正を実現し、回転半径の中心近くでも外側でも、一定の植付け間隔を維持できる。

【キーワード】

空気圧種子供給、回転補正、プランタ、精密ドリル、数値流体力学

Related SDGs



1. Introduction

Commodity grain farming is a very competitive business requiring high efficiency and economically productive yields. Farmers have used larger equipment to increase efficiency, and manufacturers have offered planters (precision drills) up to 37m in size. Limitations in cost, weight, horsepower requirements, field efficiency and transport requirements have more recently caused engineers to design equipment to operate faster in smaller sizes as an alternative method to gain efficiency. This requires seed meters, seed delivery and seed placement

mechanisms to operate at higher outputs to support the raised speeds. Additionally, the accuracy of metering seeds has been improved with enhanced mechanical designs. Adding electronic controls and drive motors has allowed additional improvements in accuracy by allowing individual row meters to be regulated rather than having all rows operating at the same RPM as happens with linked mechanical or wide section electric drives. Figures 1 and 2 below show two examples of the new PL5000 series planters with new seed delivery and meter drive controls.



Fig. 1 PL5500 Planter 6 m Wide
図 1 PL5500 プランタ 6 m



Fig. 2 PL5700 Planter 12 m Wide
図 2 PL5700 プランタ 12 m

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

The new PL5000 series planters have many areas of technical focus in their developments including improved seed meters, new electronic controls software and user interface, variable rate fertilizer with section control, pneumatic seed delivery system, seed meter drive system, multi-function hydraulic circuits, transport dimensions and more. Two areas are being separated here for this report due to space restrictions, the pneumatic seed delivery system and the seed meter drive and control system. The pneumatic seed delivery system improvement concept was to increase the overall capacity of the system for higher planting speeds and to increase the robustness of the system

in difficult conditions and with difficult crops. The seed meter drive and control concept was to provide a robust, high torque capacity electric drive with a standardized commonly understood control protocol. It also includes operational features including turn compensation to maintain correct plant spacing while planting in curves or following contours along with advanced onboard diagnostics to aid support technicians. The concept supplies a scalable solution applicable from the smallest to the largest planter models in the product family, able to operate with as few as 4 rows and as many as 48 rows while maintain the full set of operating functions.

2-2 Target Value

The objective for the pneumatic seed delivery system was to deliver core crops of corn, soybeans and sunflowers along with additional more difficult crops including edible beans, canola, sweet corn, cotton and others at rates and speeds exceeding current requirements. The target for soybeans was a rate of 450,000 seeds per hectare at 17 kph during continuous operation at 100% duty cycle. Corn for grain and sweet corn had targets of 75,000 seeds per hectare at 16 kph, while crops such as sunflowers, grain sorghum, cotton and other crops had similar target rates established for them. The

objective for the meter drive and control system was to support a wide variety of seeds and rates, deliver accuracy equal to or better than current systems, and deliver accurate rates while planting contours and curves. In addition it needed to have a robust drive motor able to operate with a variety of seeds in difficult conditions reliably for 10 years or more of use. The control system needed a simple interface to exchange information easily between suppliers and also be scalable to cover the wide range of planter offerings without loss of performance.

3. Technical Challenge to be Solved

Technical challenges to be solved included effectively doubling the capacity of the pneumatic seed delivery system without significantly increasing the input hydraulic power requirements. Tractors used on these systems produce hydraulic oil flows up to 225 lpm (liters per minute) and pressures of 20.7 Mpa. This oil serves multiple functions with a maximum of 98 lpm at 19.7 Mpa designated to operate the pneumatic delivery system. The seed delivery system has to supply seed ranging in size from canola to large corn/maize and edible beans, and at rates from 1.7 – 90 kg/Ha at planting speeds up to 17 kph.

The seed meter drive system must drive the meters

accurately without affecting the seed singulation performance which is required to be 99 % accurate or better in maize, usually performing at 99.5 % accuracy. The seed spacing needs to be kept consistent whether planting in straight lines or in curves. Motor power consumption has to be kept to a minimum in order to expand the system to operate at least 48 seed meters independently to achieve the desired level of control. The large number of motors possible combined with the amount of data in use requires a control system that is able to operate efficiently in order to be compatible and interface with ISO11783 standardized virtual terminals across multiple types of tractors.

4. Developed Technology

4-1 Pneumatic Seed Delivery

4.1.1 Technical Challenge

The pneumatic seed delivery system operates as an on-demand airflow operated self-regulating system which supplies seed from one central hopper to meters across the planter as needed. It does this using air only without the use of additional meters or mechanisms to regulate seed flow from the storage hopper. Older model planters had a similar system that was designed for rates that were 50

– 60 % of what was needed for the new models. In order to achieve the new target rates of seed supply with the seed delivery system, the efficiency of all sub segments of the system was addressed. The air supply to the system, the seed hopper, the seed pickup aerator, the delivery conduits and the seed receptacle inlets at the meters were all studied for improvements.

4.1.2 Solution of Challenge

The seed delivery system was modelled in CFD (Computational Fluid Dynamics) software to examine overall effectiveness. For example, Figure 3 is a plot of the air velocity within the seed aerator assembly CFD model. Figure 6 shows a top view of an air velocity plot of the entire system. The seed aerator is at the center, top of the image and the discharge conduits that deliver seed to each separate meter are below. The results of CFD study showed that decreasing the primary delivery conduit from 38 mm to 32 mm would decrease the amount of seed in transit between the storage hopper and the meters at the planting units. This decreased the air required to deliver the seed while making the system more responsive to seed requirements. The conduit routing away from the seed aerator was changed to eliminate 35 cm of vertical climb for the seed.

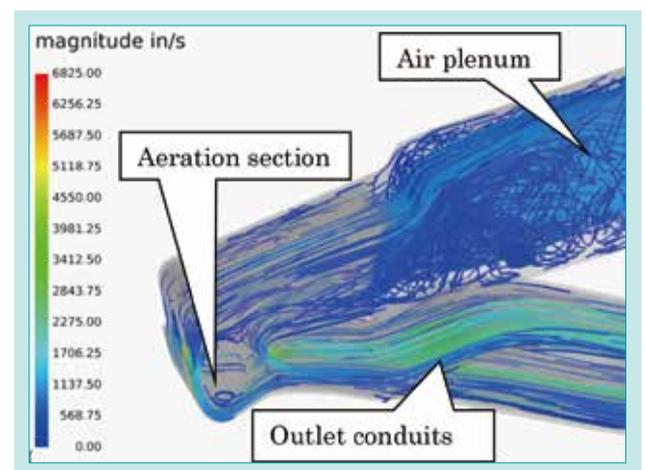


Fig. 3 Air Velocity Seed Aerator CFD Model

図3 通風器内の気流速度シミュレーション

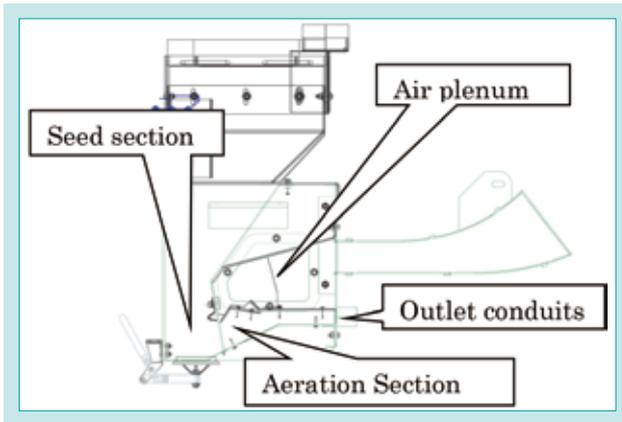


Fig. 4 Cross Section of Previous Aerator
図4 従来の通風器組付け部

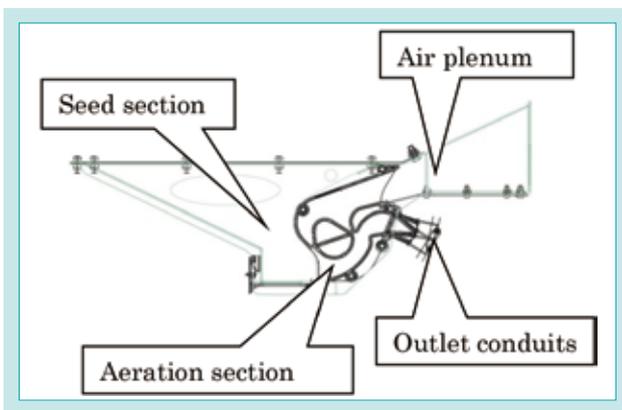


Fig. 5 Cross Section of Improved Aerator
図5 改善後の通風器組付け部

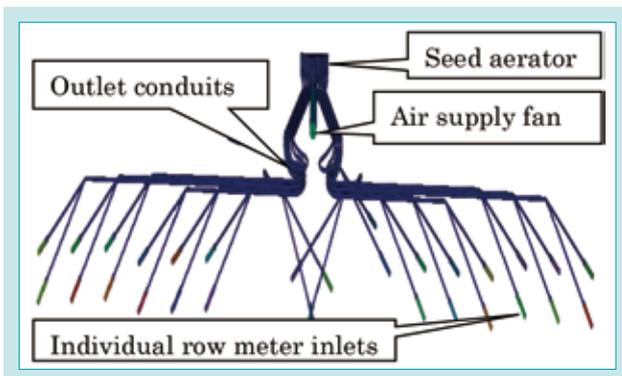


Fig. 6 Air Velocity Seed Delivery System
図6 種子供給システム全体の気流速度

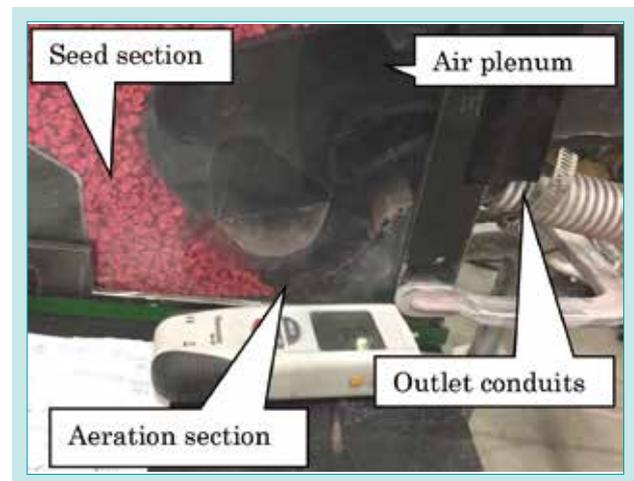


Fig. 7 Actual Lab Prototype of Seed Aerator
図7 通風器の試作品(実物)

After some effort, we were unable to achieve accurate modelling of the seed aerator device with entrained individual seeds using CFD software. We resorted to visual analysis and physical measurements to develop improved solutions. A lab model utilizing a clear support structure was then created to simulate field operation of the system. The model included full scale components for seed conduits and operating meters at the discharge outlet. The system output was measured by A) Seed delivery rate, B) Failures to start seed delivery, C) Total amount of seed in transit between hopper and meter, D) Uniformity of seed flow over time, E) Air consumption. The system was also video recorded to allow slow motion analysis to aid development. Figure 7 shows portions of the aerator segment with red colored corn seed to the left and the aeration section to the right of the seed. Shape optimization of the aeration section was conducted and 3-D printed pieces were placed in the simulator and evaluated. The object was to maximize A and D while minimizing B, C and E. The lab results of the best versions were validated using full scale testing and were proved to correlate accurately. Figures 4 (before) and 5 (after) show the changes developed in the aerator.

4-2 Seed Meter Drive System

4.2.1 Technical Challenge

The seed meter drive system must be accurate, provide uniform spacing in curves as well as straight lines, be robust and be scalable to fit many different

4.2.2 Solution of Challenge

Accuracy of the seed meter is a critical performance parameter, measured in seed singulation and in seed spacing. In corn, the 5000 series seed meters deliver

size models. Standard communication protocol and ease of service features were also required.

singulation of 99.5 % and places 85 % of seeds within 5 % of target spacing location. The electric meter drive and control system had to maintain that

level of accuracy during startup or high and low speed operation and whether operating in a straight line or in curves. Traditional drive systems operate multiple meters at one common speed, either by mechanical linkage or by control systems that operate based on one speed signal across a broad section of the planter. When planting on curves this results in the rows near the center of the arc planting too many seeds, and the rows away from the center of the arc planting too few seeds. In the sharpest expected turns (defined as mid-frame turn radius = 100% of planter width) the inner rows will overplant 100% and the outer rows will underplant by 50%. To overcome this problem the 5000 series planter control each meter independently and use curve compensation algorithms. The planter is equipped with one RADAR or Hall Effect speed sensor near each end of the planter (Figure 8). The location of the sensor is a parameter recorded in the software during assembly of the planter and can vary based on the planter configuration. The location of each meter on the planter frame is calculated based on the row spacing, quantity of rows and row number parameters. The speed signal from each sensor compared to its location on the planter swath is then used to compute a local, Curve Compensated forward speed for each meter based on its location on the frame. This compensated local forward speed is used in combination with the planter target population, seed disc seeds/revolution and row spacing for that meter location to compute a desired meter RPM for each meter. The control system then regulates each motor independently to achieve the desired RPM to maintain the correct spacing. Figure

9 shows the effect on individual seed spacing with and without curve compensated metering.

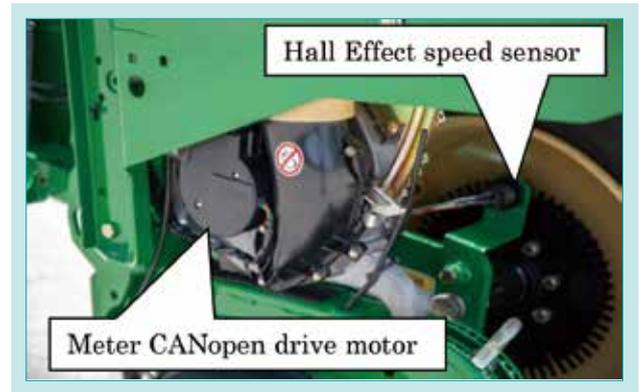


Fig. 8 Electronic Drive and Speed Sensor
図8 電子制御ドライブと速度センサ

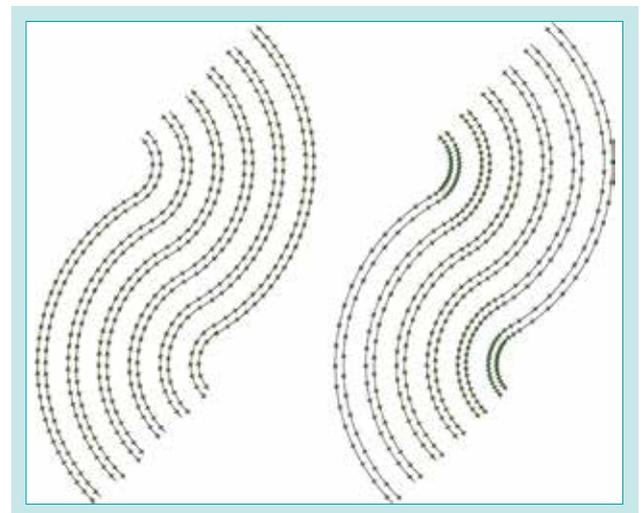


Fig. 9 Seed Spacing in Curves With and Without Curve Compensation
図9 旋回時の植付け間隔(旋回補正あり、なし)

4-3 Motor Control Scaling and Power

4.3.1 Technical Challenge

The Great Plains planters range in size from 4 rows with 4 meters up to 48 rows with 48 meters. They utilize data intensive features including row by row RPM and population control, swath mapping and overplant avoidance, mapping of the material (seed and fertilizer) as applied to the field, meter seed singulation, seed spacing and quality index

4.3.2 Solution to Challenge

The solution was to add a secondary slave CAN (Controller Area Network) system and power supply to the controls system. The second network uses CANopen protocol to control the motors, monitors meter performance and supports the ground speed sensors used for curve compensation calculations. The secondary CAN features modular controls that operate and monitor two rows each with a slave

monitoring, motor voltage, temperature, RPM and other parameter monitoring. Due to the amount of data traditional ISO11783 networks were unable to support the larger sizes. In addition, the power requirements to operate the larger sizes are higher than the ISO standard cables were able to carry.

ECU (Electronic Control Unit) based on instructions from the central main ECU. Slave ECUs can be added as needed to operate smaller or larger planters.

Seed will occasionally have foreign material and broken pieces of seed in it. This material can get between the seed disc and the meter housing or get stuck in the seed disc air holes that hold the seed in

place for metering. When it sticks in the air holes the meter can skip a seed at that location every time the disc rotates. If it gets between the disc and the housing it can generate friction and increase the torque required from the drive motor. Competitive drive systems sense the increased torque requirement at a low level and react by stopping the disc and reversing it slightly, attempting to dislodge the foreign material. This cycle is repeated a few times until the material is discharged or the motor enters overload. While this is happening, the farmer is continuing to travel forward and thus will have a skip in the planted field with no seeds in that row. The solution came in three parts. Figures 10 and 11 shows the design incorporates a cleaning edge along the outer periphery of the seed disc. This edge intercepts foreign material between the outside of the seed disc and the housing and has a geometry that guides material away from the disc and discharges it into the seed delivery tube and to the soil. The second part of the solution is cleaning brush that rubs the seed disc air holes to dislodge

material that is stuck in the holes. This brush clears debris from the air holes and discharges it to the ground. The final part of the solution is a CANopen drive motor (Figure 8) with torque capacity sufficient to keep turning when any remaining foreign material is passing through the meter up to a non-damaging threshold value. To determine the desired torque specification a test apparatus was built to measure meter loads. The measurement was done with a strain gauge on a torque arm holding a drive motor operating the meter, as well as by measuring the current, voltage and RPM of the drive motor. The meter was then operated with clean seed to determine the basic operating load and progressively more contaminated seed until component damage would occur. It was found that normal operating loads were approximately 1.69 Nm while damaging loads did not occur until 33.0 Nm. Motor specification was set at nominal operating torque requirement of 3.4 Nm at 99.9% cycles and 20 Nm at 0.01% cycles.



Fig. 10 Seed Meter with Improved Cleanout
図 10 異物除去改良後の種子計量器

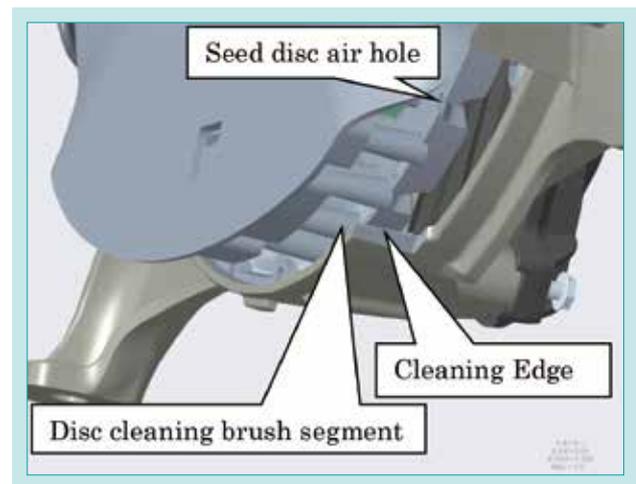


Fig. 11 Detail of Self Cleaning Area
図 11 異物除去部分の詳細

5. Conclusion

Adding curve compensation adjustment to the seed meters drive increases accuracy of meeting desired population and plant spacing. The effect varies by the amount of curves the farmer has in their field and by the sharpness of the curves. It can range from correcting a 100 % error to zero effect in completely straight rows.

The seed delivery system changes met 100% of target objectives. In field testing growers were able to increase field speeds by 45% in soybeans. Sweet corn growers were able to increase speeds by 80% and plant some varieties that could not be delivered with pneumatic seed delivery systems in the past.

Contribution to SDG Targets

2.3 Increasing agricultural productivity and income

Contribution to increased productivity through increased speed and allowing more crop to be planted during optimum days.

8.2 improvement in productivity through innovation

Contribution to improving crop quality by improving planting accuracy through turning correction.

CRS-ECUの開発

Development of CRS-ECU

エンジン技術部

機
械
部
門

7

CRS-ECUの開発

近年、産業用ディーゼルエンジンは排出ガス規制や燃費の向上だけではなく、様々な顧客要望に対応することが求められており、従来よりも高度な電子制御技術の適用が必要とされている。中でも排出ガス規制の厳しい高出力帯のディーゼルエンジンでは電子制御による燃料噴射制御機構の1つであるCRS(Common Rail System)の搭載が主流となっており、CRSの電子制御装置であるCRS-ECU(CRS-Electronic Control Unit)はエンジンの商品価値を高める上で重要な要素となっている。したがって市場におけるクボタのエンジンの競争力を今後も維持・拡大するためには、今まで以上に効率的なCRS-ECUの開発体制構築が必要不可欠である。しかし、現行のCRS-ECUにはハードウェアスペックによる制約やソフトウェアアーキテクチャに課題があり、市場要望への迅速な対応を困難にしていた。この課題を解決するため従来とは異なる設計思想のもと、より市場競争力の高いCRS-ECUの新規開発を行った。

【キーワード】

電子制御装置、コモンレールシステム、モデルベース開発、AUTOSAR

Recently, industrial diesel engines are required not only to deliver lower fuel consumption, but also to meet emission regulations and a range of customer demands. CRS-ECUs have become a more important factor to increase the value of the engine itself because applying advanced electronic control techniques with CRS has almost become indispensable for meeting these requirements. However, conventional development of CRS-ECUs is too costly because there are some issues with their hardware and software architectures. Hence, we have to establish a more efficient process to maintain our market competitiveness. In order to resolve these problems, we developed new CRS-ECUs.

【Key Word】

ECU, Common Rail System, Model-based Development, AUTOSAR

関連する SDGs



1. はじめに

近年、産業用ディーゼルエンジンの排出ガス規制は急激に強化されている。例としてEPA(米国環境保護庁)の定める産業用ディーゼルエンジンの排出ガス規制(56 kW-75 kW)を図1に示す¹⁾。Tier3(2007年施行規制)と比べFinal Tier4(2015年施行規制)では、窒素酸化物および炭化水素の排出量は約1/8、黒煙の原因となるPM(微小粒子状物質)の排出量は約1/20に制限されている。例として挙げた米国だけではなく、先進国を中心とす

る他の世界中の国々でも規制強化は進んでおり、今後もこの傾向は続くと考えられている。中でも、高出力帯のディーゼルエンジンは環境負荷が大きいため、より厳しい規制値が設定されており、規制対応にはより高度な技術的対応が求められる。これにより従来の機械式の制御では、先進国における高出力帯の排出ガス規制に適合することは事実上不可能となっている。

そのため、先進国における厳しい排出ガス規制をクリアする

には電子制御技術の適用が必須であり、中でもディーゼルエンジンではCRS (Common Rail System)の搭載が主流となっている。CRSとは電子制御によるディーゼルエンジンの燃料噴射制御機構の1つであり、燃料の噴射タイミングや噴射圧力、および、一気筒あたりの燃料噴射回数を緻密に制御することが可能である。これにより、燃費や排出ガス性能を大幅に改善することができる。さらにCRSでは燃料インジェクタや燃料ポンプなどの燃料噴射制御機構だけではなく、排出ガス規制の強化に伴ってDPF(Diesel Particulate Filter : ディーゼル微粒子捕集フィルター)や尿素SCR(Selective Catalytic Reduction : 選択触媒還元)システムといった電子制御デバイスが新たに追加されており、より複雑なシステムに変容している。そのためディーゼルエンジンの制御ソフトウェアは大規模・複雑化の一途をたどっており、CRSの電子制御装置であるCRS-ECU(Electronic Control Unit : 電子制御装置)はエンジンの商品価値を高める上で重要な要素となっている。

また、クボタのディーゼルエンジンは、社内搭載の農業機械や建設機械に加え、世界中のさまざまな産業機械メーカーでOEM(Original Equipment Manufacturing)採用されており、その用途は多岐にわたる(図2)。搭載されるアプリケーションごとにエンジンの使われ方や使用環境が大きく異なるため、さまざま

な顧客要望に対応したうえで、それぞれの国や地域の排出ガス規制に適合しなければならない。そこで、クボタでは搭載アプリケーションそれぞれに対して個別のソフトウェアをリリースしており、各仕向け先に対して制御パラメータのチューニング、また必要に応じて制御ロジックの追加・変更を行っている。このような顧客要望への細かい対応を行うことにより、クボタは産業用ディーゼルエンジンの市場をリードしてきた。しかしその一方で、CRS-ECUの制御ソフトウェアは膨大な種類が派生しており、2019年10月現在、クボタのリリースしているCRS-ECUソフトウェアは1000種類を超えている。年々新たにリリースされる制御ソフトウェアの本数は増加傾向にあり、効率的な制御ソフトウェアの開発体制の構築がエンジン開発において強く求められている。

以上のように、ディーゼルエンジンの開発におけるCRS-ECUの開発負荷は急増しており、従来の開発環境では多様な顧客要望への対応や、高度化する電子制御技術に追従することは困難になると予想される。今後も市場におけるクボタのエンジンの競争力を保っていくためには、今まで以上に迅速かつ柔軟なCRS-ECUの開発体制を整えることが必要不可欠である。そこで電子制御エンジンの開発環境刷新のため、CRS-ECUの新規開発を行った。

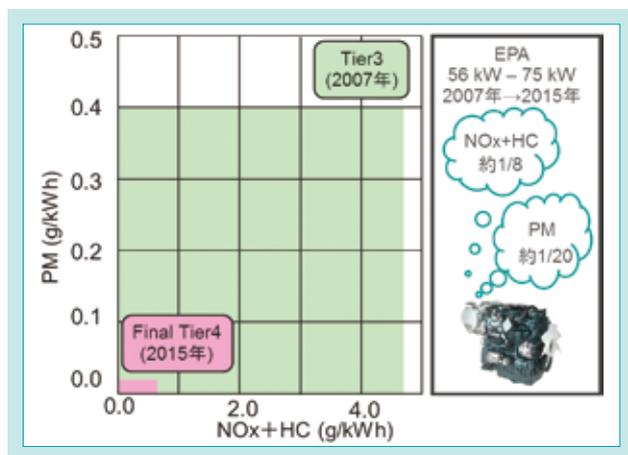


図1 米国における産業用エンジン排出ガス規制値比較
Fig. 1 Exhaust Gas Restriction for Non-Road Engine in the U.S.



図2 Kubotaエンジン搭載状況
Fig. 2 Kubota Engine Application

2. 開発のコンセプト

CRS-ECUの新規開発にあたり、下記2点をコンセプトとした。

- (1)ハードウェアスペック強化による顧客要望対応力の強化
- (2)ソフトウェア作成・検証効率化による開発速度向上

上記を達成するCRS-ECUを実現することでエンジンの製品価値を高め、市場におけるクボタエンジンの競争力を向上させることを目的とした。また、本開発における対象エンジンシリーズはより多くの顧客要望に応えエンジン事業の裾野を広げるため、クボタエンジンのラインナップの中でも多種多様な顧客を有しているV3、07シリーズとした(図3)。



図3 開発対象エンジン(左: V3, 右: 07)
Fig. 3 Target Engine for Newly Developed CRS-ECU (L: V3, R: 07)

3. 解決すべき技術課題

前章の開発コンセプトに対して、以下のような課題が存在していた。

3-1 技術課題：ハードウェア

1)耐環境性

乗用車用のエンジンとは異なり、産業用ディーゼルエンジンは厳しい環境下で長時間稼働し続けることが求められており、開発にあたってさまざまな耐環境性能試験が行われている(図4)。特にクボタのエンジンは社内搭載だけではなく、世界中で幅広い用途の産業機械に搭載されており、多様な条件下での使用を想定しなければならない。そのため、本開発のCRS-ECUにおいても従来品と同等かそれ以上の耐環境性能が求められる。

2)拡張性

クボタのエンジンは前述のように幅広い用途で使用されており、顧客要望も多岐にわたる。しかし、従来品のCRS-ECUは入出力ポート数やメモリサイズなどのハードウェアスペックの制約上、それらの要望に応えることができない場合もあった。そのため、本開発のCRS-ECUのハードウェアには従来品以上に多様な顧客要望に対応できる高い拡張性が求められる。



図4 耐環境性能試験

Fig. 4 Environment Resistance Test

3-2 技術課題：ソフトウェア

1)効率性

ソフトウェアの開発工数は開発規模に対して幾何級数的に増加することが知られている。これは主に、ソフトウェアの規模が大きくなると飛躍的に複雑度が増加し、プログラム作成やデバッグに要する工数が増えることに起因する。また、大規模なソフトウェア開発になるとプロジェクトに携わる人員が増加し、コミュニケーションミスによるバグ混入リスクも発生する。1名で行うプログラミング作業とは異なり、チームによるプログラミングでは担当者間での些細な理解の齟齬から不具合が混入する可能性が生じ、開発規模が大きくなるほどそのリスクは増大する²⁾。

エンジン制御ソフトウェアの規模が大規模化していく中で、今後も市場のニーズに則した電子制御エンジンをタイムリーに供給していくためには、従来までのソフトウェア開発環境では限界があった。そのため今まで以上に効率的にソフトウェアを作成し、担当者間での情報共有を効果的に行うことのできるソフトウェア開発環境を構築することが必要である。

2)再利用性・移植性

本開発で得ることのできるソフトウェアの設計資産は次の開発にも活用できることが望ましい。クボタのエンジンはディーゼルエンジンだけではなく、ガソリンエンジンも含め多くの機種をラインナップしている。本開発ではV3,07シリーズのみを対象としたが、将来的には他シリーズのエンジンECU

の新規開発も視野に入れている。しかし、前述のようにエンジン制御ソフトウェアの作成には多大な工数を要する。新しくエンジンECUの開発を行うたびにソフトウェアの開発を初めからやり直していたのでは効率が悪い。そのため、既存のソフトウェア開発で得られた設計資産は積極的に次の開発に活用できることが望ましい。ソフトウェアの類似している機能に関しては他のソフトでも利用できること(再利用性)や、別のマイコンを使用しているECUに対してもソフトウェアを兼用可能であること(移植性)が望ましい。

3)検証性

従来は、ソフトウェアの動作確認のために、毎回必ず実機エンジンの運転を行う必要があった。実機エンジンの運転にはエンジン運転ベンチのセッティングなど、試験準備のために多大な工数が必要になっていた。しかしその一方でエンジン制御ソフトウェアの規模は年々増大しており、検証項目の数も多くなっている。そのため定められた開発期間内に必要な検証を全て実施することは不可能になりつつある。

そのほかにも、実機エンジンでは再現困難な条件を必要とする試験やエンジンの破損などの危険性をともなう試験が存在すること、作業者の知識レベルにより検証精度・効率にバラつきが発生するなどの課題が存在しており、ソフトウェアの検証手法に関しても抜本的に見直しを行う必要がある。

4. 開発技術

4-1 開発技術：ハードウェア

1) 耐環境性：アルミダイキャストECUケース

すでにクボタで内製化している電子ガバナ式ディーゼルエンジンのECUではプラスチック容器に樹脂ポッティングを施したケースを採用していた。樹脂ポッティングでは、電子基板をすべて樹脂で覆うため、防水・防塵性や耐振動性などに対して優れた手法であるが、放熱性に難点があった。CRS-ECUの場合、インジェクタ駆動回路の構成素子など、発熱量の高い回路素子が電子基板上に存在しており最大で約130°Cまで基板温度が上昇する。そのため、CRS-ECUに従来技術である樹脂ポッティングを適応することは不可能であった。

そこで、本開発ではクボタで初となるアルミダイキャストによるECUケース(図5)を採用した。最適なECUケース形状や電子基板上の部品レイアウトを決定するため、シミュレーションに基づいた設計と試作品評価(図6:放熱性能試験など)を繰り返し、必要水準の耐環境性能を実現した。

また、本開発のCRS-ECUのサイズは従来品と互換性を持たせるため、ほぼ同等の寸法で設計されており、取付穴位置に関しては従来品と完全に同一の設計とした。また、コネクタの種類やピン配置も従来品と同一となるように設計しており、搭載場所やワイヤハーネスも従来品と互換性を持たせている。そのため、従来品のCRS-ECUから容易に本開発のCRS-ECUへの切り替えが可能である。

熱や振動に関する耐環境性能についても従来品と比較し、同等かそれ以上の性能を実現しているため、より幅広い

環境下において多様な用途で使用可能なECUハードウェアを実現することができた。

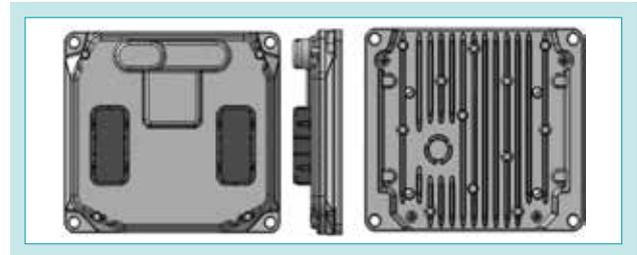


図5 本開発 CRS-ECU 外観

Fig. 5 Appearance of newly developed CRS-EC

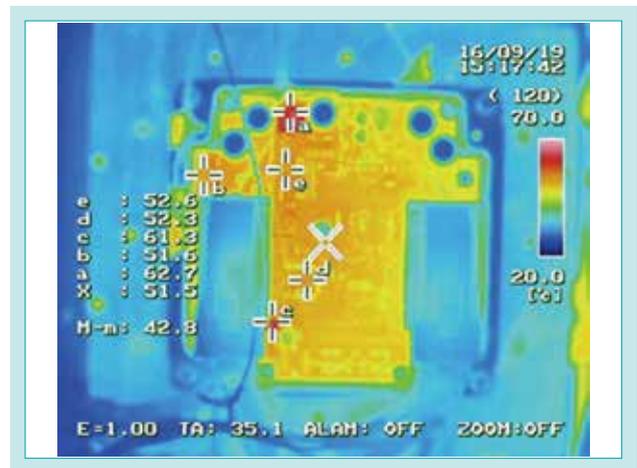


図6 放熱性能試験

Fig. 6 Heat Radiation Performance Test

2) 拡張性：ハードウェアスペック

幅広い顧客からの要望を想定し、本開発のCRS-ECUではハードウェアスペックの大幅な強化を行った。

メモリ関連ではプログラム領域となるROM(Read Only Memory)容量を従来品と比較して2倍まで増加させた。従来品ではROM容量がほぼ限界に達しており、大規模なソフトウェアの追加実装は困難になっていたが、本開発のCRS-ECUではROM容量を増強し、この問題を解決した。また運転状態やエンジン設定値の記憶領域である不揮発性メモリのEEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)も従来品の96倍まで大幅増量を行った。これにより、従来は実装できなかった故障発生前後のエンジン運転状態(回転数や冷却水温度など)をCRS-ECU内に保存する機能の追加など、今までになかった機能を実現している。

また入出力ポートを増設し、CRS-ECUに接続可能な電子制御デバイス(センサ、アクチュエータ等)数を増やしている。これにより産業用エンジンのCRS-ECUとして従来品よりも柔

軟に顧客要望へ対応出来るハードウェアを実現した(図7)。

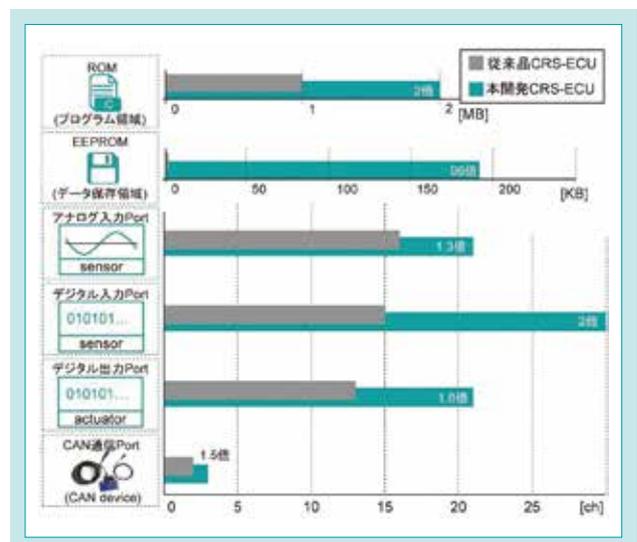


図7 ハードウェアスペック比較(従来品 v.s. 本開発 CRS-ECU)

Fig. 7 Hardware Specification Comparison

4-2 開発技術：ソフトウェア

1) 効率性：モデルベース開発

本開発ではソフトウェア作成効率化のため”モデルベース開発”と呼ばれる開発手法を導入した。

従来のプログラミング作業ではソフトウェアを文字の羅列(Cソースコード)として取り扱っていた。このようなテキストベースのプログラミングにおいてはソースコードを一見ただけで内容を把握することは難しく、プログラムの可読性の面で問題があった。一方、モデルベース開発では専用の開発ツールを用いてソフトウェアを”モデル”と呼ばれるブロック線図やフローチャート等で図的に表すことができる。モデルによってソフトウェアをグラフィカルに表現することにより、従来のテキストベースのプログラミングと比較し、直感的にソフトウェアの動きを理解することができるため、プログラムの可読性を大幅に向上させることが可能である(図8)。可読性が向上することにより、担当者間でのソフトウェア動作の理解齟齬によるバグ混入の回避や、レビュー精度を向上させることができ、ソフトウェア開発の効率化に大きく貢献した。

また、モデルベース開発で作成したモデルは、そのままソフトウェアの制御仕様書として展開が可能であることや、シミュレーションにより単体検証を容易に実行可能であるなどの利点も存在する。

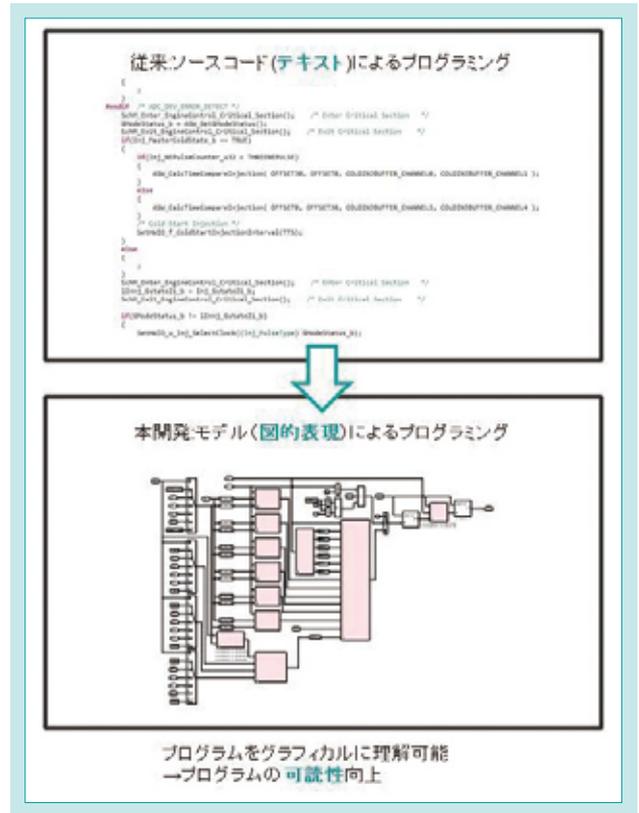


図8 モデルベース開発
Fig. 8 Model-based Development

2) 再利用性・移植性：AUTOSAR

本開発では車載ソフトウェアの世界標準規格であるAUTOSAR(Automotive Open System Architecture)に準拠してソフトウェアを作成した。

AUTOSARでは制御ソフトウェアの各機能単位をSW-C(Software Component)と呼ばれる独立したモジュールとして管理している。このSW-CはRTE(Real Time Environment)と呼ばれるインターフェースを介して、あたかも標準部品のように追加・削除が可能である。そのため、過去の設計資産を容易に再利用することができる。また、AUTOSARに準拠していればどのようなSW-Cでも組み込み可能であるため、自社の設計資産だけでなく、他社とSW-Cのやり取りを行う場合にも有効な手段となる。

また、マイコン等のハードウェア変更による影響はソフトウェアの基礎を構成するBSW(Basic Software)の一部分であるMCAL(Micro-controller Abstraction Layer)に局所化されている。そのため、MCALの修正のみでハードウェア変更によるソフトウェアに対する影響をほとんど吸収可能となっており、移植性を高めることができる(図9)。

本開発のCRS-ECU搭載エンジンの販売に際し、2018年にクボタはAUTOSAR Associate Partnerへ加盟した。

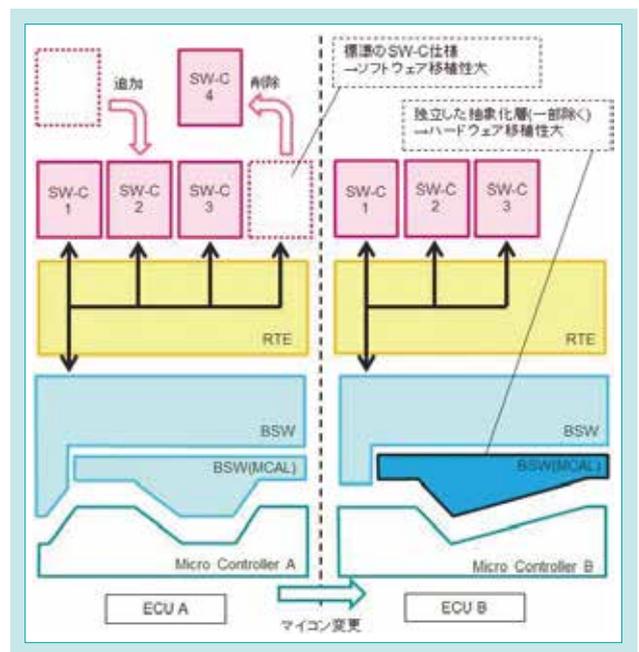


図9 AUTOSAR利点
Fig. 9 AUTOSAR Benefits

3)検証性 : HILS

エンジン制御ソフトウェアの検証環境構築のため、HILS(Hardware In the Loop Simulation)の導入を行った。HILSとはECU試験のための実機を模擬したシミュレータである。クボタのディーゼルエンジン実機から取得した運転データをもとにエンジンのプラントモデルを作成し、CRS-ECUが実機エンジンに接続している状態と同等のシミュレーション環境を実現している。これにより、実機エンジンを稼働させなくても、シミュレーションによりソフトウェアの検証が可能である。HILSの導入によって従来は多大な時間を要していたソフトウェア検証工数を大幅に削減することができ、開発の効率化に貢献した。また、HILS環境下ではシミュレーションの設定次第で容易にエンジンの状態をコントロールすることが出来るため、実機では実現困難な試験でも容易に行うことが可能である。実機を用いて行う場合、エンジンおよび試験設備の破損や、危険をとまなう可能性のある試験についても、シミュレーション上では容易に実行可能である。

さらに一連の試験環境を自動化することにより、従来は手作業で行っていたソフトウェアの動作確認を自動で行うことを可能にした。これにより制御ソフトウェア検証の一連の流れ(テスト実行→データ収集→レポート作成)を無人で実行することが可能となり、開発スピードの効率化に大きく寄与した(図10)。

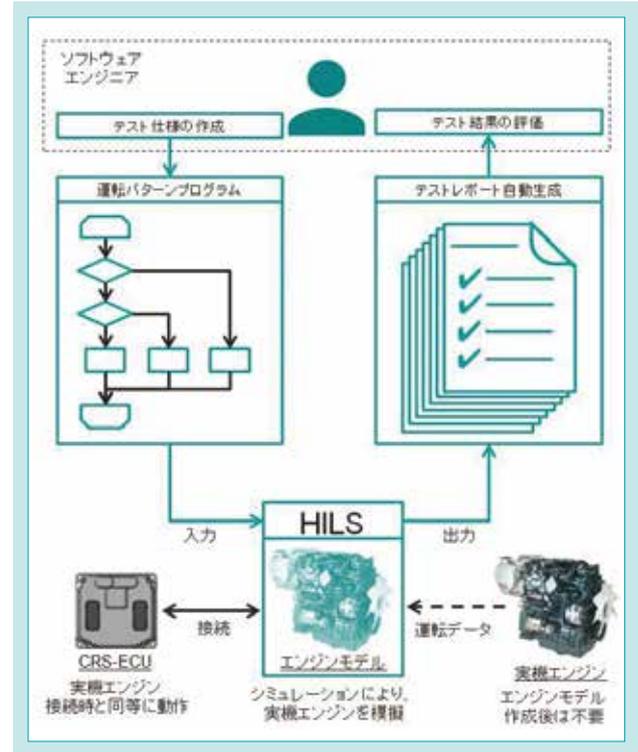


図 10 HILS システム

Fig. 10 HILS System

5. おわりに

本開発により下記2点を実現した。

- (1)ハードウェアスペック強化による顧客要望対応力の強化
- (2)ソフトウェア作成・検証効率化による開発速度向上

これにより、従来品のCRS-ECUでは実現出来なかったさまざまな顧客要望に対する迅速な対応を可能にした。また、ハードウェア・ソフトウェア両面での性能向上を達成した上でコストダウンも実現しており、価格面でも製品競争力を押し上げている。

今後の展望としては本開発で蓄積したノウハウを横展開し、他のエンジンシリーズ向けのECU開発や、新興国向けに廉価版のCRS-ECU開発を進めている。また、これに向けて、ソフトウェアの検証環境を充実させるため、HILSに加えてSILS(Software In the Loop Simulation)等の検証環境の充実化や、検証プログラムの自動運転パターンの拡充を行っている。

SDGs のターゲットへの貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 顧客ニーズを満たした産業用エンジンを供給し、産業の基盤強化に貢献

参考文献

- 1) EPA Emission Standards for Non-road Engines and Vehicles: Non-road Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards
<https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-emission-standards-nonroad-engines-and-vehicles> (参照日2019-08-22)
- 2) Steve, McConnell著: CODE COMPLETE、(2005)、pp.229、日経BP社

中国普通型コンバイン搭載 KET製ディーゼルエンジン V2403-M-DI-TIの開発

Development of V2403-M-DI-TI Diesel Engine (KET) for PRO758 General Purpose Combine Harvester for Chinese Market

エンジン技術部

KAMS(Kubota Agricultural Machinery SUZHOU)製の主力コンバインPRO688に搭載されているKET(Kubota Engine Thailand)製V2403-M-DI-Tは、03シリーズ初の4弁E-CDIS(Environment, Earth, Ecology-Center Direct Injection System)方式を採用し、低燃費化ニーズに応えた機種として、2015年から量産している。今回、市場ニーズの更なる高出力化・低燃費化に応えるため、KAMS新機種PRO758搭載用としてインタークーラ仕様のKET製V2403-M-DI-TIを開発した。本稿では、高出力化・低燃費化を達成するための最重要課題である信頼性向上のアプローチについて述べる。

【キーワード】

KET、V2403-M-DI-TI、低燃費、高出力化、耐久信頼性向上

The V2403-M-DI-T (68PS) diesel engine installed in a KAMS (Kubota Agricultural Machinery SUZHOU) main combine harvester PRO688 has been mass-produced by KET (Kubota Engine Thailand) since 2015. This is the first 4-valve 03 series engine E-CDIS (Environment, Earth, Ecology-Center Direct Injection System) system, and it meets the need for low fuel consumption. In order to meet the market requirements for even lower fuel consumption and higher output, we developed the intercooled turbo engine V2403-M-DI-TI(75PS) installed in a KAMS new model combine harvester PRO758. In this paper, we describe the approach we adopted to improve reliability, which is the most important task when attempting to achieve high output and low fuel consumption.

【Key Word】

KET, V2403-M-DI-TI, Low Fuel Consumption, Higher Output, High Durability

関連する SDGs



1. はじめに

KETは2012年に稼働を開始し、新興国向け社内搭載、OEM向けに03シリーズを生産している。また、段階的に強化される新興国の排出ガス規制対応機種のラインナップの充実を図るとともに、市場の低燃費化ニーズに応えるフラッグシップモデルとして、中国KAMS向けPRO688搭載V2403-M-DI-Tを2015年11月から生産している。中国コンバイン市場では、大気汚染等の環境問題を背景に、稲を刈った後に排出されるわらを燃やして処理することが法律で禁止されている。そのため、わらを細かく切断するチョップと呼ばれるユニットの搭載需要が増

加している。さらに、圃場面積増加による作業負荷の増加も重なり「さらなる出力アップ」が求められた。また、競合他社が高馬力機種の投入、販促施策を打ち出している。加えて、製品使用時間の長い賃刈ビジネスにとってランニングコストの大半を占める「燃料費低減ニーズ」が特に強まっている。同時に、ユーザが所有する輸送トラックの積載幅の関係で、本機機体サイズは現状を維持する必要がある。よって、従来機03シリーズ最高出力49.2 kWに対して、搭載互換性を維持しつつ、さらなる高出力化・低燃費化が求められた。

2. 開発概要

2-1 開発コンセプト

従来機V2403はすでに03シリーズの最高出力49.2 kWであり、これ以上の馬力帯は上位の07、V3シリーズになる。しかし上位機種はエンジン体格が大きく搭載互換性が維持できない。そこで、従来機にインタークーラを採用し、搭載互換性を維持しつつ高出力化を図ることで、次の2つの開発コンセプトを設定した。

- ①競合に対して体格出力密度で差別化するため03シリーズ最上位機種として世界トップクラスの高出力密度化機種を開発する。
- ②燃料代の節約ニーズに応え、顧客への付加価値を向上させるため世界トップクラスの低燃費化を実現する。

2-2 目標値

開発エンジンの主要目表を表1、外観図を図1に示す。開発目標は以下の2つを設定した。

表1 開発エンジン主要目表
Table 1 Engine Specifications

Model	New Model V2403-M-DI-TI	Current Model V2403-M-DI-T
Combustion System	Direct Injection (DI) system	
No. of Cylinders	4	
Bore×Stroke [mm]	φ87×102.4	φ87×102.4
Displacement [L]	2.434	2.434
Brake Horsepower Gross intermittent [kW/rpm]	55.4/2600	49.2/2700
Maximum torque Gross intermittent [N·m/rpm]	255.2/1500	218.2/1500
Rated fuel consumption [g/kWh]	217	233
Maximum torque fuel consumption [g/kWh]	198	218
Dimensions [mm] (Length×Wide×Height)	683×504×713	683×504×698
Weight [kg]	202	200

- ①従来機V2403-M-DI-Tにインタークーラを搭載し定格出力を約13%向上させKET製03シリーズ最上位機種を開発する。
- ②定格燃費を現行比で7%以上低減し、産業用ディーゼルエンジンとして世界トップクラスの低燃費化を実現する。

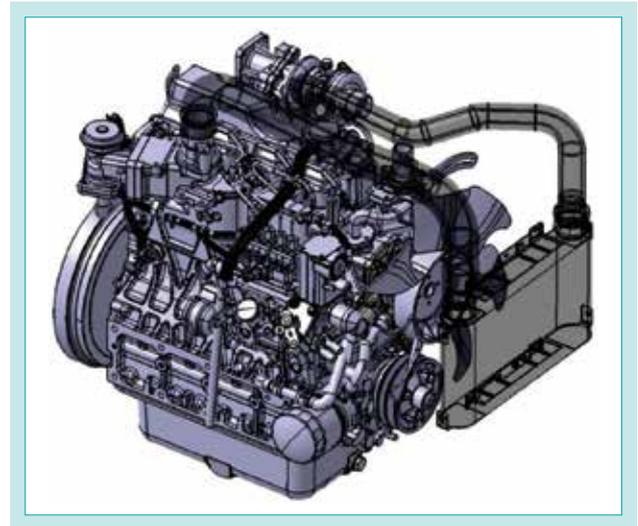


図1 開発エンジン外観図
Fig. 1 Engine External View

3. 解決すべき技術課題

開発目標を達成するために以下3点を重点技術課題に設定した。

①搭載互換性に関する技術課題

高出力化しつつ、基本構造・外観レイアウトは可能な限り踏襲し搭載互換性を堅持するため、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低燃費化に関する技術課題

燃焼改善を追求するため、メカ式エンジンの最高噴射圧力を具現化する。

③耐久信頼性向上に関する技術課題

出力アップによる筒内最高燃焼圧力(以下Pmax)の増加により部品への負荷が増大するため、耐久信頼性を確保する。

4. 開発技術

4-1 搭載互換性と高出力化の両立

出力アップのため、ターボの過給で高温になった空気の温度を冷却し密度を上げるインタークーラを搭載した。エンジンサイズは、図2のように吸気ホースの取付位置のみ高さ方向に15 mmアップの最小限の変更とすることで、体格を2.7%アップと最小化した。その結果、体格当たりの

出力密度(注1)を現行機種に対し、10.2%アップし、シリーズ最高の体格出力を達成した(図3)。また、過給温度を下げることでNOxの大幅な低減を実現し、中国排出ガス3次規制にも適合している。これにより、搭載互換性を維持したまま出力アップを達成した。

機械部門

8

中国普通型コンバイン搭載KET製ディーゼルエンジンV2403-MD11Tの開発

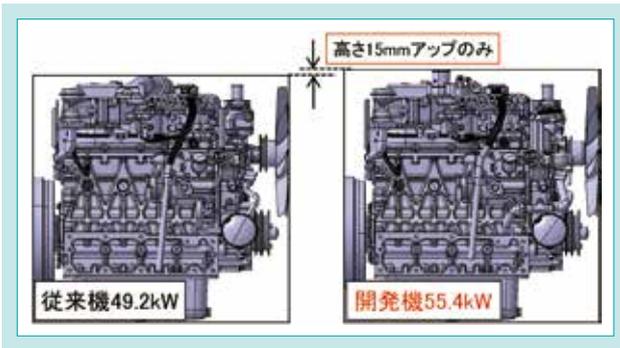


図2 外観寸法比較
Fig. 2 Comparison of External Dimensions

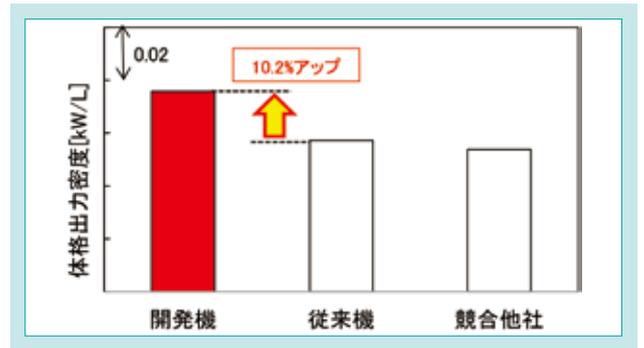


図3 体格出力密度
Fig. 3 Physique Power Density

注1 体格出力密度[kW/L]=定格出力[kW]/エンジン体格[L]
(幅L[mm]×長さW[mm]×高さH[mm])

4-2 メカ式エンジン最高噴射圧力の具現化

4.2.1 メカ式エンジンの燃料高圧噴射

低燃費化を実現するためには、燃料をより高圧で噴射し燃料噴霧を微粒化させ、空気と燃料の混合促進により燃焼効率を向上させることが重要である。メカ式噴射系において、燃料高圧化のためには、燃料カムの圧送速度を上昇させ、噴射ポンプ内の燃料をより早く圧送することが重要である。燃料カムの圧送速度を上げるため、カムプロフィールの凹面形状の曲率半径を小さくし、カム回転角あたりのリフト量を増やす必要がある。そのため、図4のように燃料カム凹面形状の曲率半径を、従来機に対して-15%と加工設備の砥石径の限界まで小さくすることで、従来機に対して圧送速度を13%アップ、噴射圧力を18%アップさせ、メカ式噴射系最高噴射圧力を実現した(図5、6)。カム研磨時のビビリ、ワークの振れにより当初量産不可とされていたが、加工追い込み量、研削速度、潤滑量等、サプライヤと共同で加工条件の最適化を図ることで量産化を実現した。

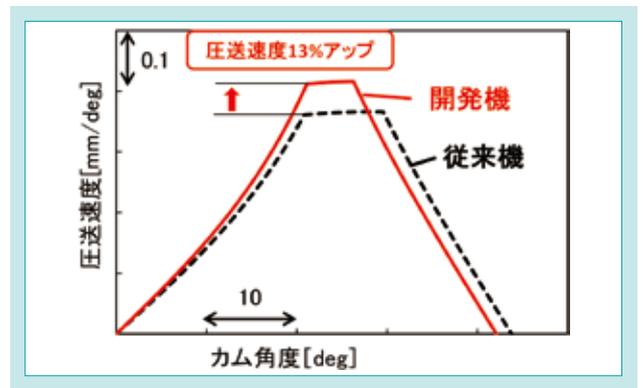


図5 燃料カム 圧送速度
Fig. 5 Pumping Rate of Fuel Camshaft

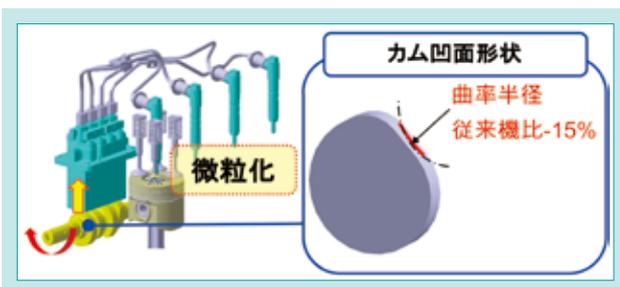


図4 燃料カムプロフィール形状
Fig. 4 Configuration of Fuel Camshaft

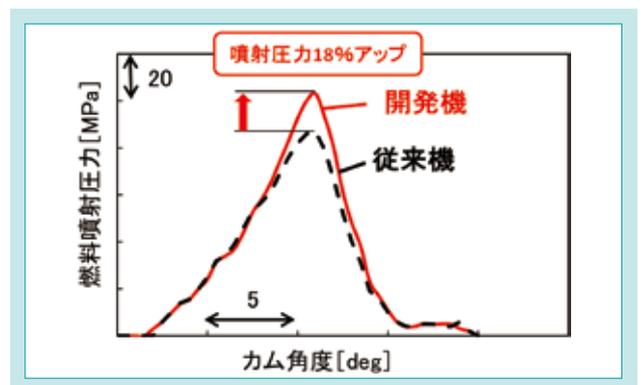


図6 燃料噴射圧力
Fig. 6 Fuel Injection Pressure

4.2.2 燃料高圧噴射化による燃費改善効果

メカ式噴射系の最高噴射圧を実現し、燃焼改善に取り組んだ結果、従来機に対して定格点で-7% 最大トルク点で-9%と大幅な低燃費化を図り、目標性能を達成した(図7)。

(参考: 年間の製品稼働時間1000 hr、作業負荷率70%、燃料代1 L当たり100円想定で、年間の燃料代を約7万円削減することが可能)

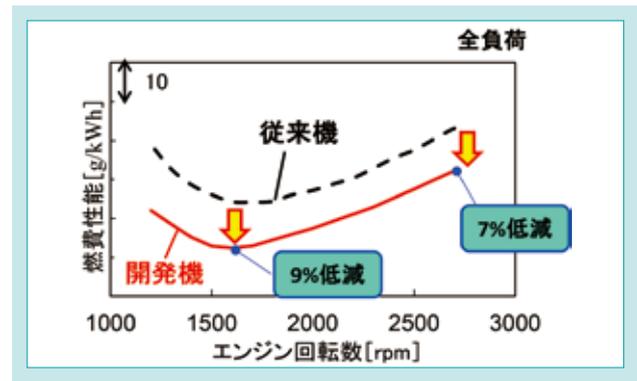


図7 燃費改善効果

Fig. 7 Effect of Improved Fuel Efficiency

4-3 耐久信頼性の向上

高出力化・低燃費化の背反として、燃焼時の筒内燃焼最高圧力 P_{max} の増加により部品への負荷が増大するため、耐久信頼性の確保が重要な課題となる。そこで、DR(Design Review)や解析による設計検討を行い、対応案について検討した結果、ピストンと燃料カムシャフトの強度を上げる必要があることが判明した。ピストンは動力伝達の基幹部品であり、また、燃料カムシャフトは低燃費のキーとなる部品である。そのため、この2つの耐久信頼性確保を最重要課題として、その対応に取り組んだ。

4.3.1 ピストンの耐久信頼性確保

ピストンの応力解析と単体試験の双方から、爆発圧力をコンロッドに伝えるピン穴部の強度が不足していることが判明した。そこで、QCDを総合的に検討し、コストミニマムでの対応可能な策として、①ピストンの冷却性を向上することで、熱疲労強度を向上させること、②ピン部の形状を最適化し、応力緩和を図ること、以上の2つに取り組んだ。

対応策の一つ目として、ピストンの冷却はエンジンオイル経路にキリ穴をあけ、オイルジェットすることで冷却する構造である。従来のキリ穴1つのシングルジェットに対して、キリ穴径を50%アップ、キリ穴を2つ設けたダブルジェットへ変更し、オイルジェットの流量を約4倍にアップさせ、ピン穴部の被熱温度を約9°C(4%)低減した(図8)。

対応策の二つ目として、形状の最適化による応力緩和を検討した。ピストン頂面で受けた爆発荷重は、ピン穴に配置されたピストンピンを介してコンロッドへ伝達される。また、ピン穴には応力を受けたときのピストンピンの変形を逃がすユニカル加工というテーパ加工が施されている。そこでピン穴長さを10%延長し、受圧面積を10%アップさせ、ピン穴のテーパ角を20%アップへ変更し、ピストンピン変形時の最適な応力逃げ量を設定することで応力集中の緩和を図った(図9)。この2つの対策の効果を確認するため、単体加速試験を活用することで評価期間を約1/5へ短縮し、疲

労強度が確保できることを確認した。以上からコストミニマムで耐久信頼性を確保する仕様を決定した。

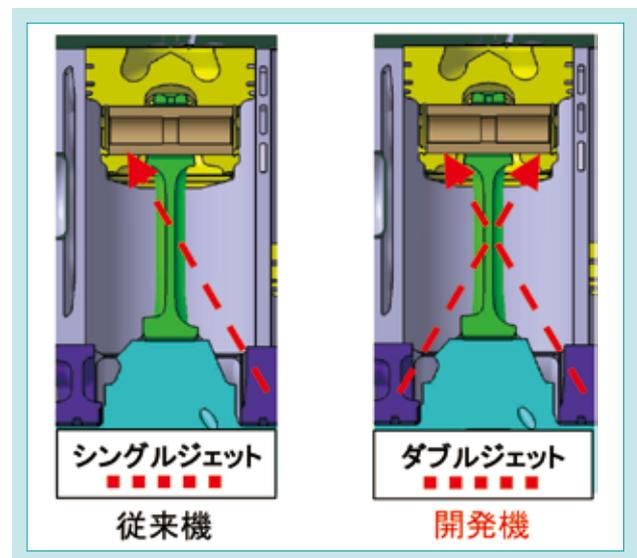


図8 オイルジェット強化によるピストン冷却性能向上

Fig. 8 Improved Piston Cooling Performance by Double Oil Jet

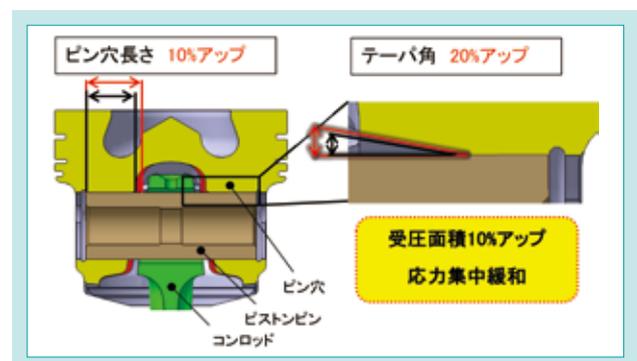


図9 ピストン形状の最適化

Fig. 9 Optimization of Piston Shape

4.3.2 燃料カムシャフトの耐久信頼性確保

高圧噴射にともなうヘルツ応力の増加にあわせて、従来機では最適な熱処理・表面処理を実施してきた(図10)。しかし、メカ式エンジン最高噴射圧力の限界性能を引き出

したことで、燃料カムのヘルツ応力が11%増加し、新たな疲労強度向上技術が必要になることが判明した。燃料カムはプロフィール形状が性能に影響するため、ピストンのように形状変更ができない。そこで、カム軸メーカーと協力し、現状の設備で可能な対策として従来よりも粒径を小さくしたエンジン部品初の細粒ショットピーニングを開発した。

細粒ショットピーニングはメディアと呼ばれる粒径の細かい鋼球をワークに高速で投射し残留圧縮応力を付与して疲労強度を向上させる技術である(図11)。燃料カムのヘルツ応力は、表面付近が最大応力となるため、ショットの粒径を小さくして残留圧縮応力の最大値を表面付近にする必要がある。そのため、ショット機を従来のインペラ式から投射エネルギーの大きいエアノズル式を選択し、最表面の残留圧縮応力を従来の約2倍まで向上させた(図12)。ショットの条件はメディアの種類、ノズルの仕様などパラメータが多数あるため、実機を模擬したローラーピッチング試験機を活用しながらサプライヤと協議を重ね、実機評価に対して約1/4の短期間でショット条件を決定した。その結果、大きな構造変更なく疲労強度を約3倍に向上させ、耐久信頼性の確保に成功した。

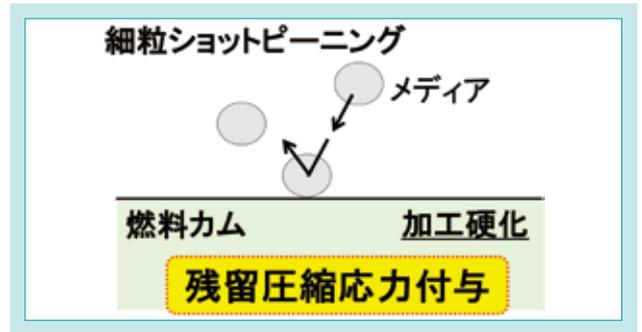


図 11 細粒ショットピーニング概略
Fig. 11 Outline Fine Grain Shot Peening

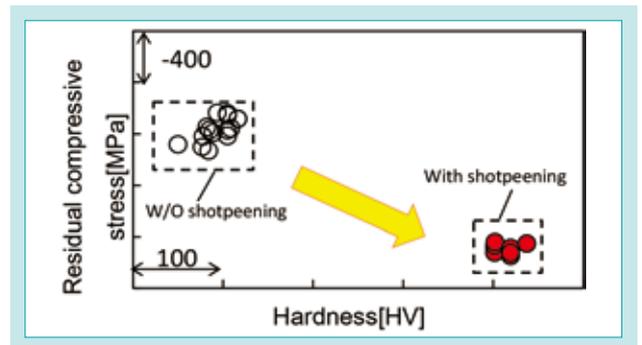


図 12 ショットピーニングの硬度・残留圧縮応力
Fig. 12 Shot Peening Quality Hardness, Residual Compressive Stress

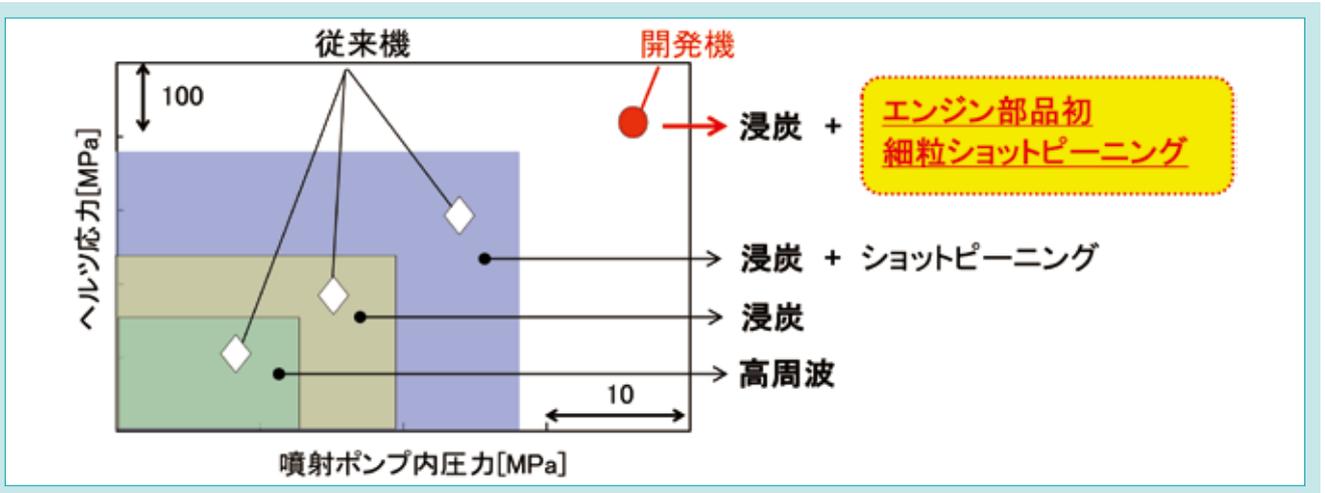


図 10 燃料カムのヘルツ応力
Fig. 10 Hertzian Contact Stress of Fuel Camshaft

4.3.3 細粒ショットピーニングの量産品質管理

細粒ショットピーニングの量産化に向けて、タイ現地サプライヤでの量産品質管理が課題となる。残留圧縮応力の測定は、高額なX線測定器を用いるため、KET検査部門や後工程を担当するサプライヤに高額な設備投資が必要になる。そこで、残留圧縮応力を表面硬度と金属組織を用いて現有設備で管理する代替案を考案した。まず、ショットが正常に実施された場合、表面硬度が大きく上がり、残留オーステナイトがマルテンサイトへと変態する特徴がある。しかし、オーバーピーニングと呼ばれる過

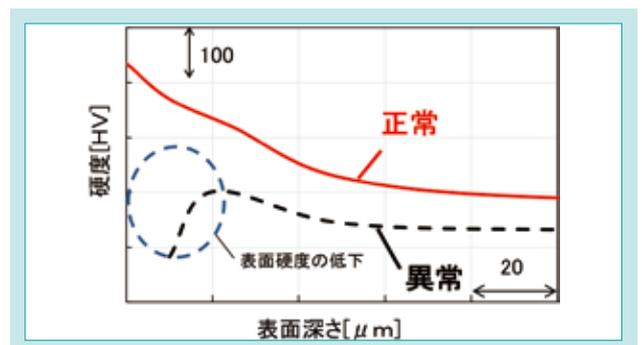


図 13 過剰ショット時の硬度低下イメージ
Fig. 13 Image of Reduced Hardness From Overshot Peening

剩にショットをした場合、表面硬度が大きく下がる特徴があるため、硬度に閾値を設定することで、ショットが適切に施行されたかを判定できる方法を決定した(図13)。次にショットが不足している場合、組織の変態量が少なくなり、表層付近の残留オーステナイトの析出量が多くなる。そこで表層の残留オーステナイト析出量を、組織観察するこ

とでショットの不足を判定できる方法を決定した。このように、硬度と組織の相関を活用することで、高額な設備投資をすることなく、量産品質を確認できる管理手法を確立した。この手法は、仕様書としてサプライヤと取交しを行い、2017年の量産より運用を開始している。

4-4 燃費改善結果

高出力化の背反である耐久信頼性の課題を解決し、メカ式噴射系において最高噴射圧力を実現したことで燃費改善を図った。さらに高過給・EGR・燃焼系・ピストンリング張力の最適化¹⁾²⁾³⁾の燃費低減化に取り組んだ。図14に各社における中国排出ガス3次規制適合機種種の定格燃費性能の抜き取りデータを示す。本開発機種であるインタークーラ仕様のKET製V2403-M-DI-TIは従来機に対して定格点の燃費性能を7%以上低減することで、世界トップの低燃費性能を実現し、搭載本機の競争力強化に貢献した。

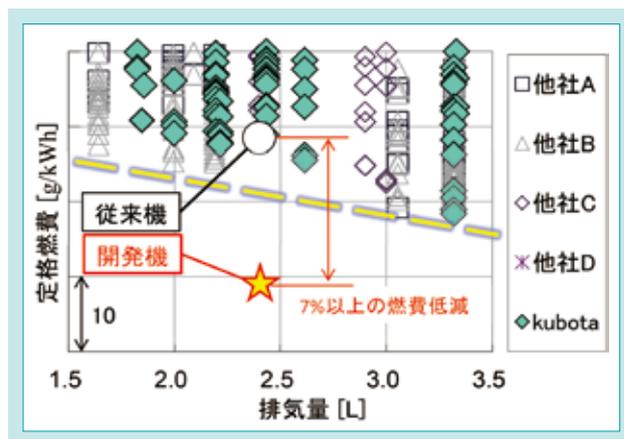


図 14 燃費性能の抜取データ
Fig. 14 Sampling Data on Fuel Efficiency

5. おわりに

中国市場特有の賃借りに対する長時間・高負荷作業に対して高出力化での作業性改善と同時に低燃費化を実現し、市場ニーズに合致したマーケットイン志向の開発により搭載本機の競争力強化に貢献した。

- 1) 03シリーズ最上位機種55.4 kW仕様を開発し、同時に世界トップクラスの低燃費化(従来比 Δ 7%)を実現した。
- 2) 搭載互換性を維持しつつ、同時に高出力・低燃費・耐久信頼性を高次元でバランスさせ、市場ニーズに応えた。

- 3) 細粒ショットピーニングの量産品質管理手法を考案した。

今後は、本開発で採用した低燃費技術をV2403-M-DI NA機種へ横展開するとともに、材料費低減活動に尽力する。性能とコストを高次元で両立するKET生産機種種の製品競争力強化を図り、新興国拡販に尽力していく。

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 定格出力向上により、農業の生産性向上に貢献
- 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7%、最大トルク点で9%低減
- 17.16 グローバルパートナーシップの構築 海外生産拠点KET、現地サプライヤと一丸となった新技術開発

参考文献

- 1) SKYACTIV-Dエンジンの紹介 2013 自動車技術会
- 2) 小排気量クリーンディーゼルエンジンSKYACTIV-D1.5の開発 2015マツダ技報
- 3) クリーンディーゼルエンジン新型SKYACTIV-D2.2の開発 2017マツダ技報

欧州向けミニバックホーKX027-4の開発

Development of the Mini Excavator KX027-4 for European Market

建設機械技術第一部

機械部門

9

欧州向けミニバックホーKX027-4の開発

欧州ミニバックホー市場において、2-3トンクラスは年間10 000台規模の大きい需要帯である。クボタは、2014年に市場導入した2.6トン後方小旋回型ミニバックホーU27-4を中心に高いシェアを確保しているが、さらなるシェア拡大のため、2.6トン標準型ミニバックホーKX027-4の開発を行った。欧州市場では、体格の大きなオペレータが多く、運転席の居住空間の拡大に対する要望が高まっている。そこでKX027-4では、キャビンを従来より大きくし、「安全・安心な労働環境の促進」に取り組むこととした。しかし、機械の輸送時の制約により、機械質量を増加させることができないため、従来構造のままキャビンの大型化を行うことができない。そこで本稿では、オペレータの居住性向上のために従来キャビンより大型化し、目標の機械質量を達成するために軽量化したKX027-4アルミ合金製キャビン(クボタ建機初)の開発について述べる。

【キーワード】

ミニバックホー、キャビン、アルミ合金、居住空間拡大、軽量化

In Europe's mini backhoe market, there is a high demand for machines in the 2-3 ton range with 10 000 units sold per year. In 2014, Kubota acquired a high share of this market segment with its 2.6 ton minimum tail swing excavator. To increase market share, we developed a 2.6 ton conventional tail swing compact excavator. Because of the physical size of European operators, there is a need in the European market to expand the 'living' space around the driver's seat. Accordingly, in the development of the KX027 we decided to increase the cabin size to enhance safety and provide a secure working environment. Because there are limitations on the weight of the KX027-4 for shipping, it is difficult to increase cabin size without increasing the cabin weight. In this paper, we explain the development of the KX027-4 aluminium cabin that allows the cabin size to be increased to better accommodate the operator comfortably while saving weight at the same time.

【Key Word】

Mini Backhoe, Cabin, Aluminium Alloy, Increased "Living" Space, Weight Saving

関連する SDGs



1. はじめに

欧州市場において2-3トンクラスミニバックホーは、主に3.5トントレーラ(取得容易な免許で運転できる最上位トレーラ)で運搬されている。3.5トントレーラで運搬するためには、機械質量が2.6トン以下であることが必須である(図1)。2004年欧州向けに導入した2.6トン標準型ミニバックホーKX61-3は、上記の重量制限をクリアし、さらに基本性能や耐久性の高さが顧客に受け入れられ、シェア増を達成してきた。

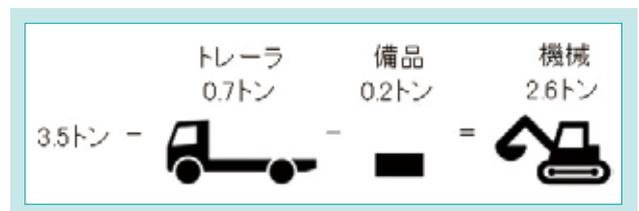


図1 重量制約の説明
Fig. 1 Explanation of Weight Limitation

しかし近年、市場の成熟や競合のラインナップ拡充にともない、市場より次の4つの要望が挙がってきた。

- ①居住性の向上
- ②価格競争力の向上
- ③AUX(追加アタッチメントを動かす油圧源)の手元操作化等の高機能追加
- ④法規改正対応

そこで、従来機の機械質量、基本性能および高い耐久性を踏襲し、かつ上記の要望に応えるフルモデルチェンジ機KX027-4を開発した(図2)。

フルモデルチェンジ機KX027-4の開発では、①居住性向上については、キャビンの大型化により居住空間を拡大、②価格競争力向上③高機能追加については、価格重視のベーシック機と高機能を追加したハイスpek機を同時開発、④法規改正対応については、欧州排出ガス規制StageV対応を行った。そのうち本稿では、大型化したキャビンの開発について記述する。



図2 KX027-4 外観図
Fig. 2 External View of KX027-4

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

従来機のキャabinは、スチール製であった。キャabinを同構造のまま大型化すると、材料が増える分、キャabin重量が増加してしまう。一方で、1章で述べたとおり、KX027-4は輸送時の制約から機械質量を増やすことはできない。そのため、キャabinを大型化するには、あわせてキャabinの軽量化が必要となる。キャabinの軽量化の手段としては、材料の板厚を薄くすることや支柱を細くすることが挙げられる。しかし、クボタミニバックホーのキャabinは、機械が転倒した際にオペレータを保護する構造ROPS(Roll-Over Protective Structure)であることから、従来キャabinよりフレームの剛性を下げることはできない。そのため、KX027-4キャabinに上記の軽量化案を織り込むことは難しく、材料にスチールを使用したままではキャabinの大型化と軽量化の両立は困難であった。そこで、キャabin材料に、比強度(引張強さ/密度)が高く、大幅な軽量化が期待できるアルミ合金を用い、開発を行った(図3)。

以下2点をコンセプトとして開発を進めた。

- ①キャabinの大型化による居住性向上
- ②キャabinの軽量化による目標機械質量の達成



図3 キャabin外観図
Fig. 3 External View of Cabin

2-2 開発の目標

(1)キャabin容積

欧州市場で高評価を受けている3-4トンクラスミニバックホーのキャabin容積をターゲットとし、従来キャabinよりキャabin容積10%向上を達成する。

(2)キャabin重量

KX027-4の開発では、高機能追加などにより重量が増加する変更がある。それらを考慮し、従来キャabinより重量25%低減を達成する。

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) アルミ溶接構造体の許容応力値の設定

これまでにクボタミニバックホーにおいて、強度部品にアルミ合金製溶接部品を採用した実績がなく、アルミ合金は採用実績のあるスチールとは異なる以下の特徴を持つ。①溶接面近傍の熱影響部(以降、HAZ部)が軟化する②疲労限度がない。①②により、スチールとは異なるアルミ合金独自の許容応力値を設定する必要がある。

(2) ROPS強度に必要な剛性の確保

クボタミニバックホーのキャabinはROPSであり、機械が転倒した際、シートベルトを着用したオペレータが押しつぶされないように保護空間を確保する必要がある。しかし、

アルミ合金は、スチールより強度が低く、変形しやすい。そのため、従来キャabinと同形状のままキャabinの材料をアルミ合金に変更するだけでは、必要な剛性を確保することができない。

(3) 低温での脆性破壊に対する耐性の評価

ISO3471(ROPS Laboratory tests and performance requirements)により、ROPS構成部材に規定されたスチール以外の材料を使用する場合、ROPS構造の低温での脆性破壊に対する耐性を評価することとなっている。しかし、これまでクボタミニバックホーのROPS構成部材には、規定されたスチールしか使用しておらず、評価方法が確立されていない。そのため、アルミ合金の低温での脆性破壊に対する耐性の評価方法を検討し、確立させる必要がある。

4. 開発技術

4-1 アルミ溶接構造体の許容応力値の設定

これまで実績のあるスチールとアルミ合金との違いから述べる。スチールとアルミ合金の溶接面近傍の硬度分布を図4に示す¹²⁾。図4よりスチールのHAZ部硬度は母材硬度より高くなるのがわかる。スチールの引張強さは硬度と比例関係にあるため、スチールのHAZ部引張強さは、母材の引張強さより高くなる。このことから、HAZ部引張強さは母材引張強さと同等とみなして評価してきた。一方、図4よりアルミ合金の場合は、HAZ部が軟化することがわかる。アルミ合金の引張強さも、スチールと同様に硬度と比例関係にあることから、アルミ合金のHAZ部引張強さは母材引張強さより低くなる。

次に、スチールとアルミ合金のS-N線図を図5に示す³⁾。図5より、スチールでは繰返し数 10^7 回以降でグラフが水平になることがわかる。このことから、スチールには疲労限度があるといえる。一方、アルミ合金では繰返し数が増えるにつれて繰返し応力が下がり続けることがわかる。このことから、アルミ合金には疲労限度がないといえる。

以上より、スチールの場合、母材引張強さとHAZ部引張強さは同等であり、疲労限度があることから、許容応力値には母材部、HAZ部ともに母材の疲労限度を用いてきた。しかし、アルミ合金の場合、HAZ部引張強さは母材引張強さより低く、疲労限度がないことから、スチールと同じ考えでは許容応力値を設定することができない。そこで、母材とHAZ部の引張強さを把握し、機械の使い方にあつた繰返し数を設定することで、母材とHAZ部それぞれに許容応力値を設定することにした。

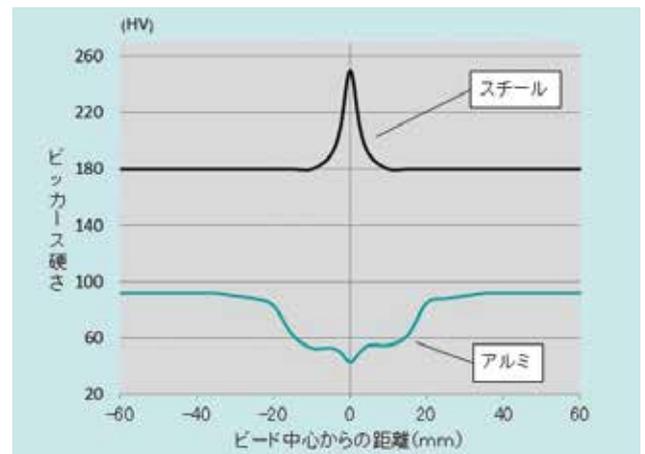


図4 A6063の溶接面近傍硬度分布

Fig. 4 Hardness Distribution Near Weld Surface (A6063)

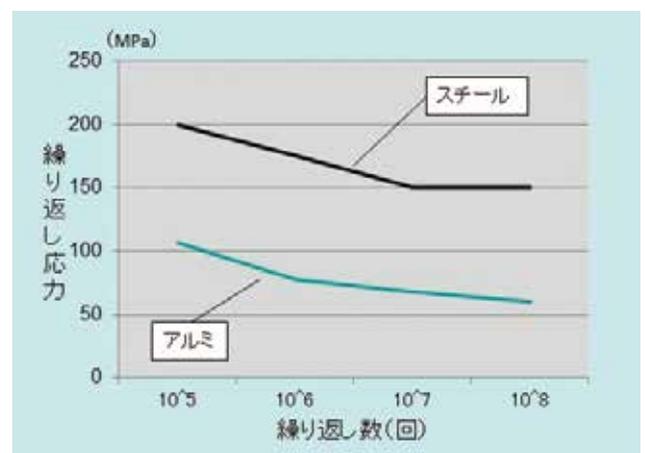


図5 S-N線図

Fig. 5 S-N Diagram

はじめに強度把握の結果を述べる。KX027-4のキャビン材料は、アルミ合金A6063である。A6063のHAZ部の硬度分布を図6に示す。図6より、HAZ部が母材の約70%に軟化していることがわかる。硬度と引張強さは比例関係であることより、HAZ部の引張強さは母材の引張強さの70%となる。S-N線図については、同一材料であれば近似値として、引張強さの比率で平行移動させても大きく外れない。そのため、引張強さの比率とA6063母材のS-N線図より、A6063のHAZ部のS-N線図を図7と推定した。

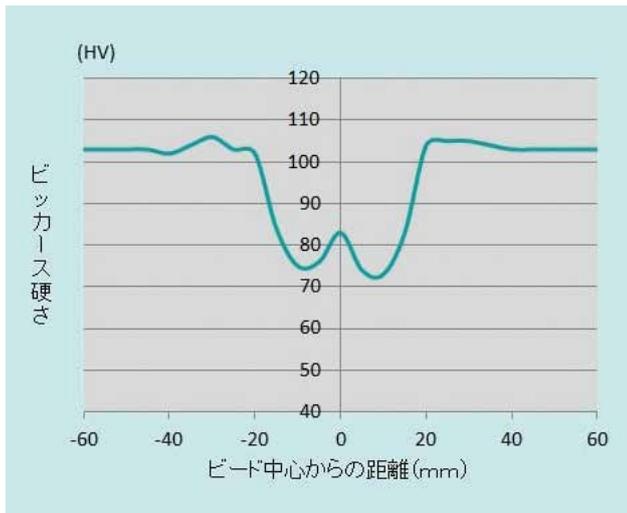


図6 アルミ合金の溶接面近傍硬度分布
Fig. 6 Hardness of Weld Neighborhood (A6063)

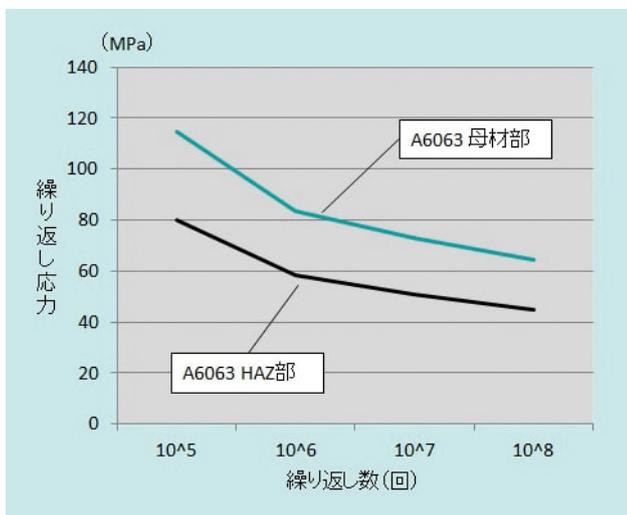


図7 A6063のS-N線図
Fig. 7 S-N Diagram of A6063

次に、機械の使い方にあつた繰り返し数の設定について述べる。繰り返し数を、機械の総稼働時間内にキャビンに加わる負荷数に設定すれば、市場でキャビンが疲労破壊を起こさないと想定した。機械の代表作業モードを図8に示す。機械の代表作業モードである図8の掘削と走行における実機の応力波形より応力振幅をカウントした。そのカウント数を、想定する機械の総稼働時間に換算し、総稼働時間内にキャビンに加わる負荷数を推定し、それを繰り返し数とした。

上記で導き出した繰り返し数と図7のS-N線図より、A6063の母材部及びHAZ部の許容応力値をそれぞれ設定した。設定した許容応力値を用い、評価及び改善を繰り返し、設定した許容応力値を下回るキャビンを作り上げた。

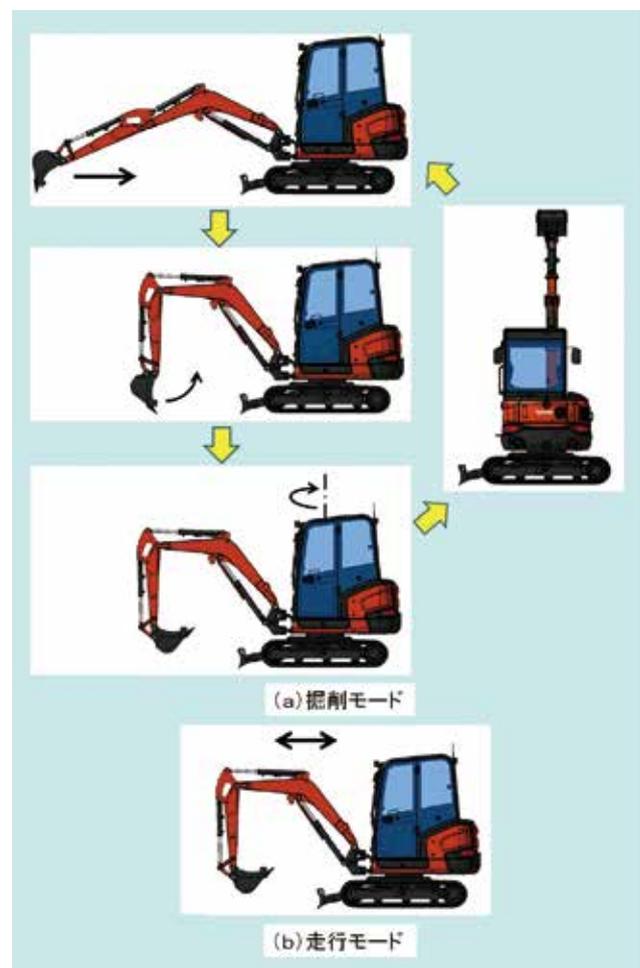


図8 作業モードの説明
Fig. 8 Explanation of Work Mode

4 - 2 ROPS に必要な剛性の確保

従来機のスチール製キャビンの支柱断面形状を図9(a)に、KX027-4アルミ合金製キャビンの支柱断面形状を図9(b)に示す。アルミ合金A6063のヤング率は、スチールのヤング率の30%程度であり、変形しやすい。そのため、従来キャビンと同じ支柱断面形状のままキャビン材料を変更するだけでは、機械が転倒した際に地面からキャビンに加わる力によりキャビンフレームが大変形を起こし、オペレータを保護する空間を確保することが困難となる。そこでKX027-4キャビンには、加工性が優れており、塑性変形しやすいというアルミ合金の特徴をいかし、支柱の内部にリブを成形させた押し出し材を採用することとした。図9(b)の断面形状を有す押し出し材により、支柱の外形を大きくすることなく、支柱の断面係数を大きくすることで、剛性を高めた。(b)の断面係数は、(a)の断面係数の230%と大きくなる。また、(b)の支柱重量は、(a)を用いた支柱重量の60%となる。これは、アルミ合金の比重はスチールの比重の3分の1と小さいためである。この点から、押し出し材の適用は、キャビン重量の低減に有効であるといえる。

次に、キャビンフレーム各部の断面形状を図10に示す。内部にリブを成形するだけでなく、雨どい(図10-a)、窓のレール(図10-b)やスピーカの嵌め込み部(図10-c)など、キャビンに必要な機能の押し出し形状に成形した。これらの断面形状を持つキャビンフレームを用いることで、ROPSに必要な剛性を確保するとともに、コストダウンを実現した。

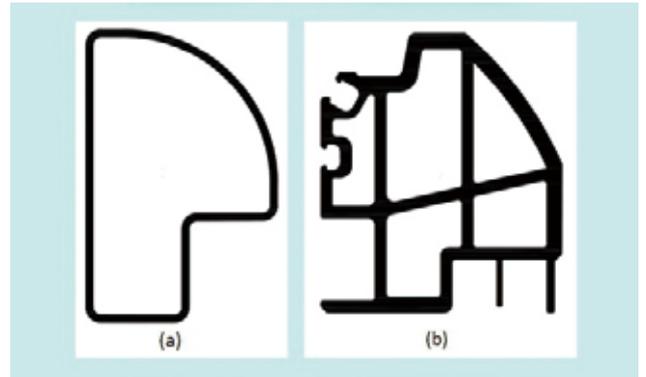


図9 キャビン支柱の断面形状
Fig. 9 Cross Section Surface of Cabin's Prop

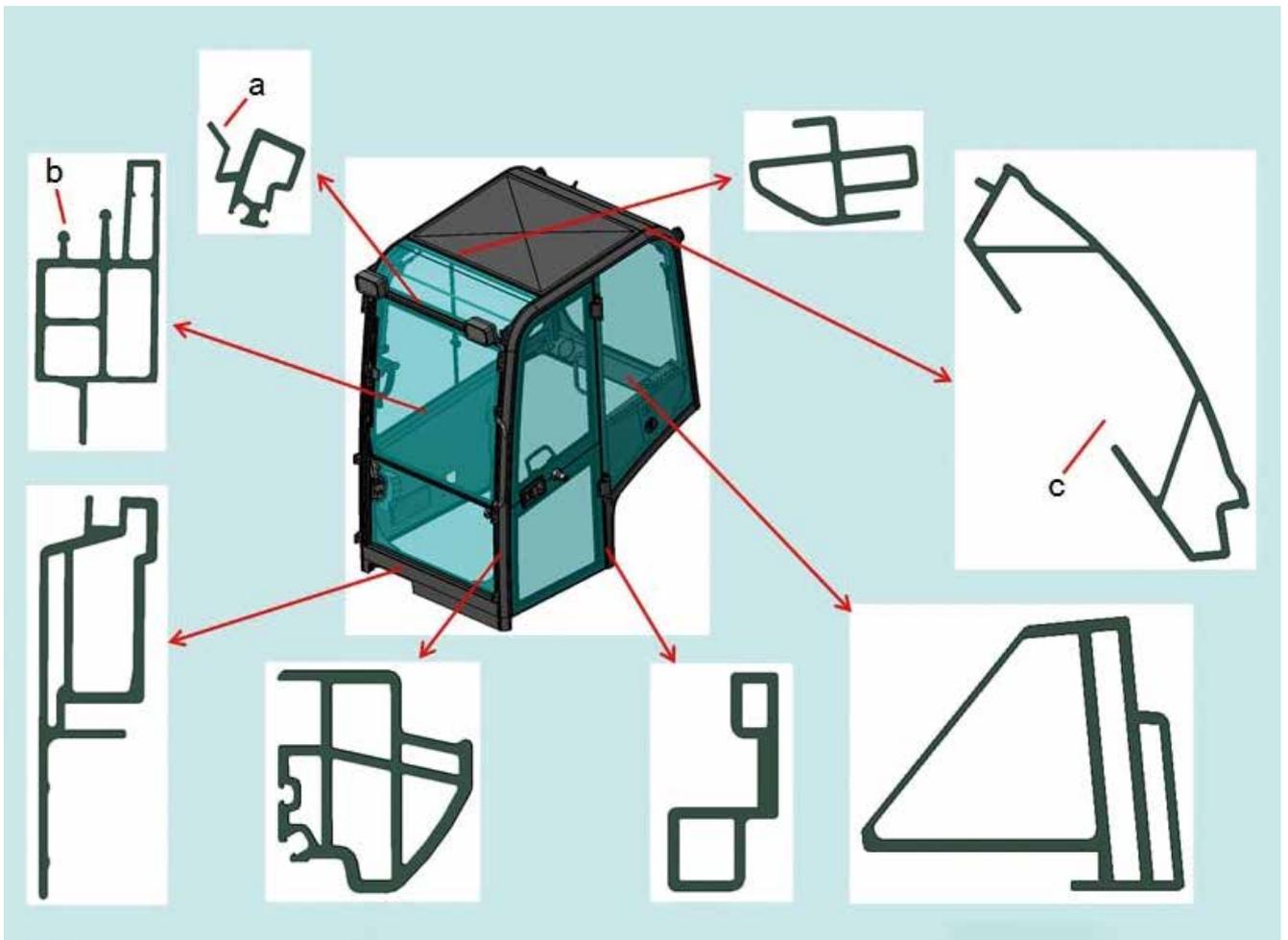


図10 キャビンフレーム各部の断面形状
Fig. 10 Cross Section of Cabin's Frame

4-3 低温での脆性破壊に対する耐性の評価

ISO 3471において、ROPS構成部材にシャルピー衝撃試験の基準値を満たすスチールを使用する場合、ROPS構成部材の低温での脆性破壊に対する耐性の評価を、常温でのROPS試験による評価により代替することができる」と規定されている。一方、それ以外の材料の場合は、ROPS構成部材の低温での脆性破壊に対する耐性の評価を、 -18°C 以下の温度の中でのROPS試験で行う必要がある。KX027-4キャビンのROPS構成部材にはアルミ合金を使用しているため、後者となる。しかし、クボタは -18°C 以下の温度の中でROPS試験を行える設備を所有していない。そこで、キャビンフレームを冷却し、キャビンフレーム自体を -18°C 以下の状態にしてROPS試験を行うことで低温下での脆性破壊に対する耐性の評価を行うこととした。

試験方法(図11)の詳細は、以下のとおりである。

- ① キャビンフレームを断熱材で覆い、キャビンフレームを -18°C 以下まで冷却
 - ② 冷却したキャビンフレームを断熱材から取り出す
 - ③ ②のキャビンフレームを用い、キャビンフレームが -18°C 以下であることを確認しながら、試験を行う
- 上記方法により、KX027-4キャビンが、ROPSに必要な低温での脆性破壊に対する耐性を有していることを確認し、ROPS性能を有するアルミ合金製キャビンを作り上げることができた。

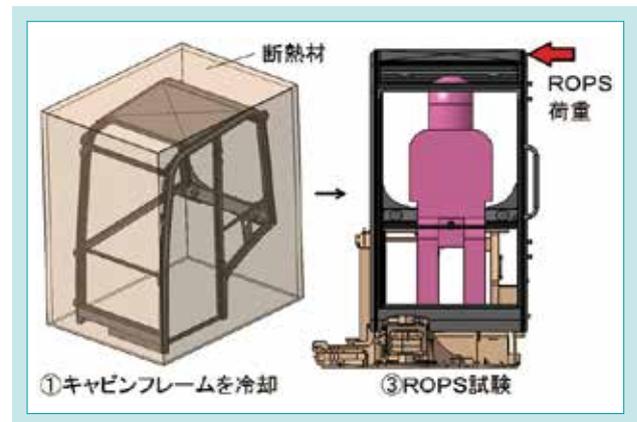


図 11 低温時のROPS試験方法
Fig. 11 ROPS Test Method at Low Temperature

5. おわりに

KX027-4のキャビンは、当初の製品コンセプトを実現した。キャビンの容積は、従来キャビンより13%向上させることができた。これにより、オペレータが快適に機械を運転することができると市場から高い評価を得ており、「安全・安心な労働環境の促進」に貢献できた。キャビン重量については、アルミ合金の特徴を生かしたキャビン作りを行い、目標のキャビン重量低減を達成することができた。

キャビンの大きさは、機械の大きさが倍になっても、倍になるような部品ではない。そのため、同じキャビン重量の低減であれば、小さい機械のほうがより重量低減の効果が大きくなる。この点から、さらに小さい機械への展開が有益であると考えている。今後も市場にあった製品作りにより、欧州、世界のインフラ整備や都市づくりに貢献していく所存である。

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 キャビンの大型化により、オペレータの居住空間を拡大

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 キャビンの軽量化により、機械の運搬容易化に貢献

11.a 都市と農村部のつながりの支援 欧州のインフラ整備に貢献

参考文献

- 1) 水野政夫: アルミニウムとその合金の溶接、(1979)、pp.41~43
- 2) 糟谷正: 「鋼材の焼入性評価炭素当量と熱影響部硬さ分布予測」、新日鉄技報、385、(2006)、pp.52
- 3) 日本材料学会: 金属材料疲労強度データベース、(1996)

業務用加湿空気清浄機「ピュアウォッシャー」の開発

Development of Commercial Humidified Air Purifier “Purewasher”

電装機器開発営業部

室内の空気質改善を目的とした空気清浄機の需要が高まる中、新規事業として今後の成長が見込める業務用加湿空気清浄市場への参入をめざし「ピュアウォッシャー」を開発した。クリーンルーム用空調機として実績のあるエアウォッシャの水噴霧技術の応用とコンパクト化、微酸性電解水を活用した除菌技術をコア技術とし、メンテナンス性とデザインに重点を置いて開発を進めた。空気清浄機としての性能評価により除菌率99%、臭気ガス除去率90%以上、加湿量2.7kg/h(20°CDB・30%RH時)を確認した。完成後は空気清浄機市場への新規参入を達成した。

【キーワード】

空気清浄機、エアウォッシャ、微酸性電解水、加湿、除菌、消臭

The demand for air purifiers to improve room air quality has increased. To enter the market for commercial humidified air purifiers, for which growth can be expected in the future, we developed the commercial humidified air purifier “Purewasher”. We applied technology for spraying water actually used for air conditioning in clean rooms, and we downsized the air washer. We utilized slightly acidic electrolyzed water to eliminate bacteria. We consider these to be the core technologies of Purewasher. We proceeded with development emphasizing the above technologies, maintainability, and design. A performance evaluation of the product yielded the following results: bacterial eradication rate: 99%; gas odor reduction: over 90%; and humidification capacity: 2.7kg/h(20°CDB・30%RH). This product successfully completed the development process and we entered the market for commercial humidified air purifiers.

【Key Word】

Air Purifier, Air Washer, Slightly Acidic Electrolyzed Water, Humidification, Bacteria Elimination, Deodorization

関連する SDGs



1. はじめに

近年、黄砂やPM2.5による大気汚染、花粉症やインフルエンザへの予防意識の高まりなどから、空気清浄技術に関する関心が高まっている。2000年頃には国内メーカー数社から家庭用空気清浄機が販売され、一般家庭に普及することで広く認知されるようになった。このような中で、より広い空間を対象とした業務用空気清浄機に対しても関心が高まっている。病院や老人介護施設、オフィスなど多くの人が集まるパブリックス

ペースにおいて花粉症やインフルエンザの拡大を事前に防ぐことは予防医療の一環として徐々にニーズが拡大していくと考えられる。

このようなニーズの高まりと、競合するメーカーが未進出の分野であることから新規事業として成長が見込めると考え、業務用加湿空気清浄機市場に新規参入することをめざして、加湿空気清浄機「ピュアウォッシャー」を開発した。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

業務用加湿空気清浄機市場に独自製品で参入し、事業基盤を確立することを目標として以下の項目を開発のコンセプトとした。

- (1) 大空間のパブリックスペースを1台の空気清浄機で加湿、除菌、除塵、消臭できる
- (2) クリーンルームなどで用いられているエアワッシャーを応用した、水の力による空気清浄
- (3) 電解水を用いた他社製品との差別化（電解水の取出し機能、機内の除菌）
- (4) 設計事務所やゼネコン、サブコンを介さない、エンドユーザーに近い仕様（ダクト組込みや機械室設置型でないスタンドアローン型）
- (5) オフィスや病院待合室、店舗などパブリックスペースに合うデザインと高い操作性

2-2 目標値

病院や老人介護施設などターゲット市場で求められるニーズ、他社製品調査などをもとに、技術面における開発目標値を以下のように定めた。

- (1) 適用床面積・・・150～200m²（空気清浄に関する自社基準）
- (2) 加湿性能・・・2.7kg/h（20°CDB・30%RH時）
- (3) 除菌性能・・・浮遊菌・浮遊ウイルスの除去率99%（JEM1467）
- (4) 消臭性能・・・アンモニア濃度の減少率が30min以内で90%以上（自然減衰比）
- (5) 電解水の取出し機能
- (6) パブリックスペース向けのデザイン

3. 解決すべき技術課題

新製品であるピュアウォッシャーを開発するにあたって特に重要となった技術課題は以下の4項目である。

- (1) エアワッシャーのコンパクト化と性能確保
エアワッシャーはAHU型クリーンルーム向け空調機に組み込まれ、微細化した水を気流に対して噴霧する装置である。これをパブリックスペース向け加湿空気清浄機に搭載するには装置を小型化し、かつ加湿、除菌、除塵、消臭性能を確保する必要がある。
- (2) ピュアウォッシャー機内の衛生状態の確保
機内で水を使用することは雑菌繁殖の要因となる。長期的に使用できる製品とするためには機内での雑菌の繁殖を防止する手段が必須となる。また、特に水回りについてメンテナンス容易な構造とする必要がある。
- (3) 電解水の取出し機能の付加
電解水を活用した機能を付加することで電解水による除菌性能をアピールすると同時に製品の付加価値を高め、他社製品との差異化を図る必要がある。
- (4) パブリックスペース向けのデザインと高い操作性
パブリックスペース向け加湿空気清浄機として、空気清浄機能をPRするとともに存在感、高級感のあるデザインとし、かつ直感で操作できる高い操作性が必要である。

4. 開発技術

4-1 エアワッシャーのコンパクト化と性能確保

4.1.1 エアワッシャーのコンパクト化

ピュアウォッシャーは室内設置用としてエレベータで室内に搬入できるように本体高さを1900mm以下として開発を進めた。そのためにはエアワッシャーをコンパクトにまとめ、かつ使用できるスペースを最大限に利用して性能を確保する必要がある。エアワッシャーのサイズが同じ場

合、性能を上げるためには気液接触効率を高めることと、気流経路における圧力損失を抑え風量を確保することが重要となる。そこで以下の条件を満たす噴射ノズルと気液接触メディアを選定候補とした。

(1) 噴射ノズル

気液接触効率を高めるためノズル孔は小さく噴射角度が大きいもの、ポンプ動力低減のため噴霧圧が低いものを候補とした。

(2) 気液接触メディア

保水性と低圧損の両立が可能で、かつ雑菌が繁殖しにくく清掃容易な構造、材質のものを候補とした。

(1)、(2)をもとにノズル、メディアを数種類選定し、性能

試験を行った。ノズルからの噴射方向は図のようにメディアに沿った方向に噴射する仕様とし、メディアが濡れることと、空間噴霧による加湿効果の両方を狙った。また、メディアは斜めに配置することで全体サイズをコンパクト化するとともに、運転停止時は水がたまりにくい構造とした。ノズルは扇形状に噴射するもの、メディアはSUS製メッシュ波折り構造を採用した。仕様決定後、以下で述べる性能評価を行い目標とする性能を満足していることを確認した。

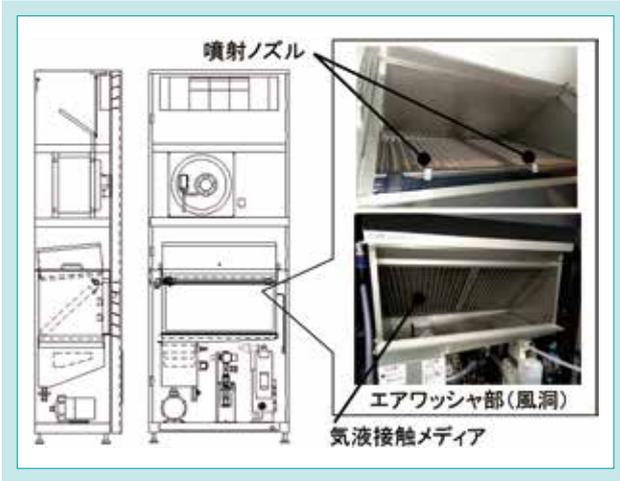


図1 エアワッシャー部(風洞)の構造
Fig. 1 Construction of Air Washer

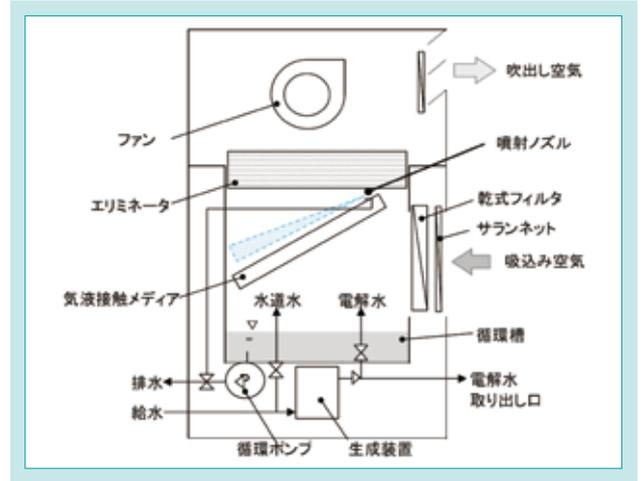


図2 ピュアウォッシャーのフロー図
Fig. 2 Flow Diagram of Purewasher

4.1.2 性能評価①: 除菌性能

除菌試験は、日本電機工業会規格JEM1467「家庭用空気清浄機」に準拠し、外部機関で実施した。

(1) 浮遊菌、浮遊ウイルス

25m³の試験空間で微生物(バクテリア、ウイルス)をネブライザーで噴霧した後、浮遊微生物をインピンジャーで捕捉し、浮遊微生物濃度の経時変化を確認した(図3)。自然減衰と比較した減少率は10分で99%以上となった。また乾式フィルタ(比色法65%)だけで運転した結果に対する効果の差異から、浮遊微生物除

去に対するエアワッシャーの効果が認められた。

(2) 付着ウイルス

25m³の試験空間にウイルス(大腸菌ファージ)を滴下したシャーレを設置し、ピュアウォッシャー運転後、所定時間毎にシャーレを取り出して付着ウイルス数を測定した(図4)。自然減衰と比較したウイルス数の減少率は60分で99%以上となった。汚染物質を機内に取り込んで除去する作用に加えて、室内の付着ウイルスに対しても抑制効果が認められた。

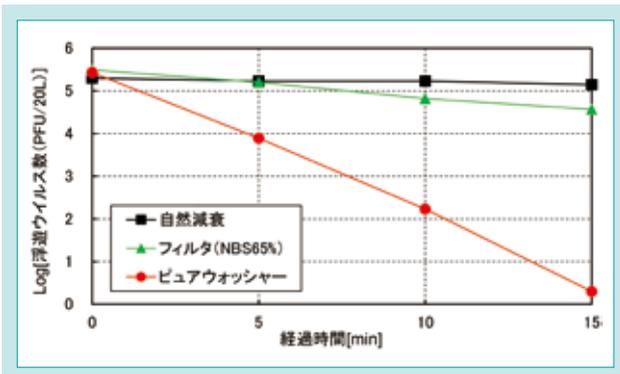


図3 浮遊ウイルスの除去性能評価試験結果
Fig. 3 Evaluation Test Result of Airborne Virus Elimination

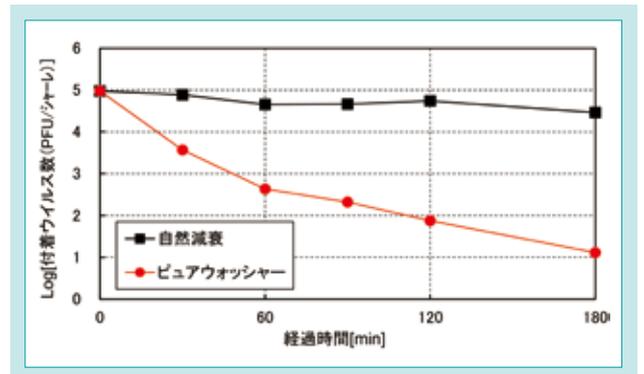


図4 付着ウイルスの抑制性能評価試験結果
Fig. 4 Evaluation Test Result of Attached Virus Elimination

4.1.3 性能評価②:消臭性能

25m³の試験空間に初期濃度8.7ppm(臭気強度3.5~4)のアンモニアを充填させた後、ピュアウォッシャーを運転し、化学発光法三態窒素ガス分析計を用いてアンモニア濃度の経時変化を確認した(図5)。比較対象として乾式フィルタ(比色法65%)での試験も行った。

ピュアウォッシャーは、運転開始後30分でアンモニアの減少率が92%(自然減衰比)となり、水溶性の臭気成分に対するエアウォッシャの消臭効果が認められた。この結果をもとに、循環水を全量入れ替えるサイクルを20~60分の範囲で可変とし、消臭力を任意に設定できるようにした。

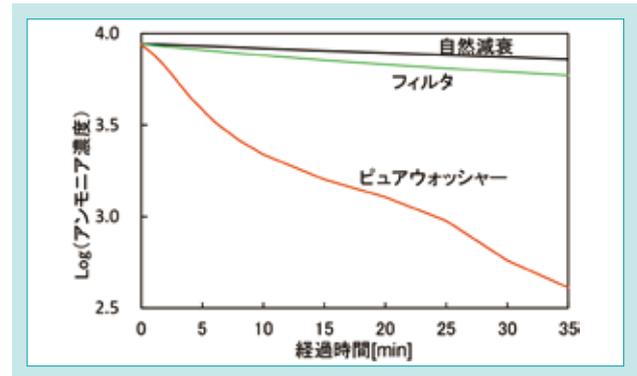


図5 アンモニア濃度の経時変化

Fig. 5 Change Over Time in NH₃ Concentration

4.1.4 性能評価③:加湿性能

大空間における加湿性能を実証するため、食品メーカーの工場食堂(床面積350m²)にピュアウォッシャーを2台設置し、1月から3月の約2ヶ月間、運転と停止を隔週で繰り返す運転を行った。試験結果を図6に示す。ピュアウォッシャー停止期間中の相対湿度が20%台であるのに対して、運転により42~54%(平均50%)を維持できている。

インフルエンザウイルスを不活化するためには湿度40%以上を維持することが望ましいとされる。当工場では、特に空気が乾燥する冬期間中のインフルエンザ蔓延防止を目的として、従業員が集まる食堂にピュアウォッシャーを導入したが、本実証試験により、期待する効果が得られることが確認された。

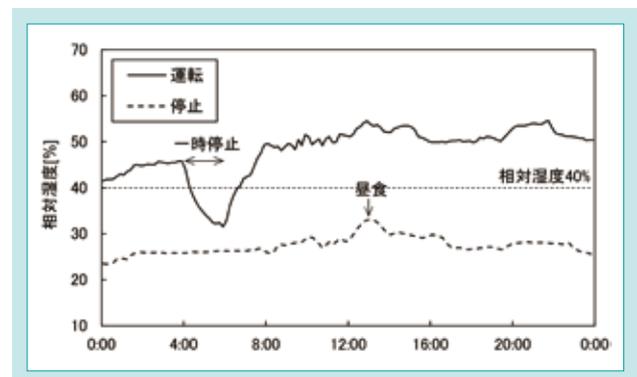


図6 工場食堂の室内相対湿度

Fig. 6 Indoor Relative Humidity of Factory Canteen

4-2 ピュアウォッシャー機内の衛生状態の確保

4.2.1 除菌剤の選定

ピュアウォッシャー機内の衛生状態を確保するために、除菌剤として微酸性電解水を採用した。理由としては、①食品添加物や特定防除資材に指定されていること、②低濃度(有効塩素濃度約30mg/L)においても十分な除菌能力を持っているため、他の次亜系除菌剤に比べて誰でも

安心して利用できること、③殺菌スペクトルが広くノロウイルスや真菌、芽胞に対する効果が高いこと④塩酸を原料とするため塩が析出しないことが挙げられる。除菌剤としての効果がある他、居住空間での使用に適した安全性や低い腐食性といった諸条件を満たしている。

4.2.2 洗浄運転モードの実装

微酸性電解水を用いて効果的に機内を除菌するために、通常運転よりも有効塩素濃度を上げて(約30mg/L)洗浄する洗浄運転モードの検討を行った。図7は1回あたりの洗浄運転時間を5minとして洗浄運転回数を重ねた時の循環槽内の水中菌数を測定した結果である。水道水洗浄では300cfu/mL未満にならないのに対して、電解水洗浄では水中菌数が洗浄回数とともに減少し、4回程(累計20min)で0cfu/mLに漸近することを確認した。

運転再開後の菌の供給源を確認するため、新品のエリミネータ、使用済みのエリミネータを使用した場合の電解

(cfu: コロニー形成単位。生存細胞の数を表す指標)

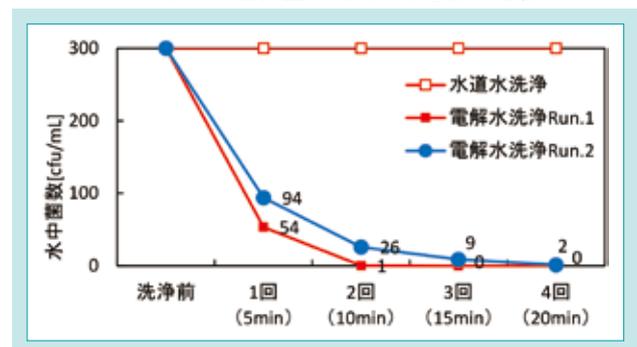


図7 電解水洗浄回数と水中菌数の関係

Fig. 7 Relationship Between Number of Times Electrolyzed Water Cleaning is Performed and Number of Water-borne Bacteria

水洗浄後の循環水中の水中菌数を測定した(図8)。使用済みエリミネータでは運転開始後3minで300cfu/mLを超えるのに対して、新品のエリミネータでは30minで258cfu/mLに達するが300cfu/mLを超えることはなかった。したがって、エリミネータは運転開始後に増加する水中菌の主要な供給源の一つであると考えられる。この結果より、洗浄運転中にエリミネータも洗浄できるように洗浄運転中はファンを動作させる仕様とし、電解水がエリミネータに到達できるようにするとともに、定期メンテナンス時にエリミネータを交換することとした。

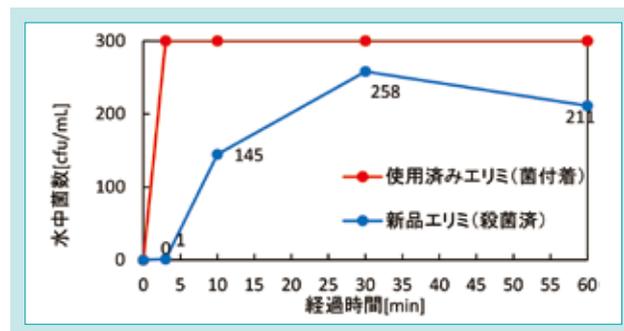


図8 電解水洗浄後の水中菌数の経時変化
Fig. 8 Change Over Time in the Number of Water-borne Bacteria After Electrolyzed Water Cleaning

4.2.3 循環槽、風洞内の雑菌・スライム抑制効果の検証

モニタ試験中、設置環境により機内の水回り部にスライム状物質(雑菌により形成される生物膜、バイオフィルム)が発生するケースがあった。スライムを抑制し機内の衛生状態を確保するため、上記の試験より仕様決定した洗浄運転モード、送風運転により機内を乾燥させる乾燥運転モード、運転停止中に循環槽に電解水を貯水する電解水貯水モードを実装した。フィールドテストにおいて運転モードの効果検証を行い、スライム抑制効果が大幅に改善することを確認した(図9)。

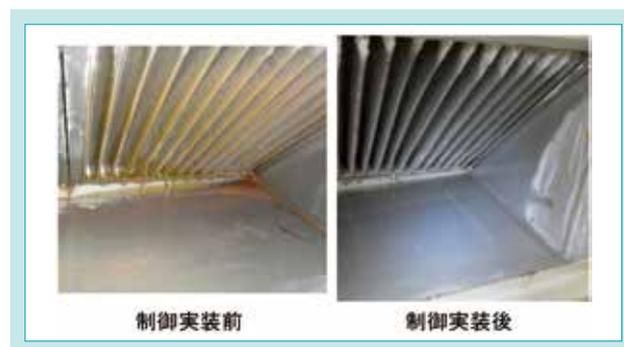


図9 フィールドテストによるスライム抑制効果の確認
Fig. 9 Confirmation of Slime Elimination Effect During Field Tests

4.2.4 メンテナンス容易な構造

機内の衛生状態を確保するためには水回りの定期的な点検は必須である。メンテナンス負荷軽減のため、特に水回りの構造については点検の容易性を重視して設計を行った。風洞については側面部と底面部を分割可能にすることで底面部にたまった汚れを清掃しやすい構造とした。また、エリミネータについては高速空気用の樹脂製エリミネータと低速空気用のSUS製エリミネータを一つのSUS枠にまとめて入れることでユニット化し、風洞部の出口部分に置くだけの構造とすることで着脱を容易にした(図10)。

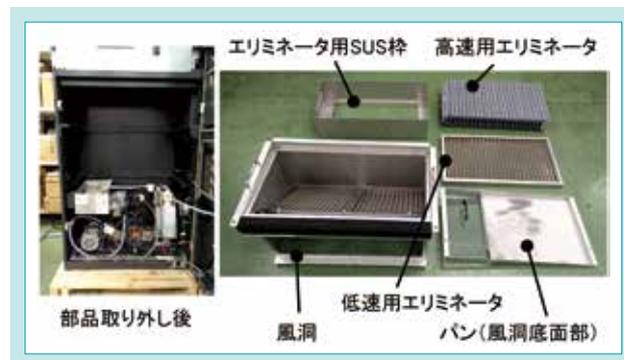


図10 水回りの構成部品
Fig. 10 Plumbing Component Parts

4-3 電解水取出し機能の付加

微酸性電解水を原料である塩酸から生成する場合のランニングコストは1Lあたり10円未満である(原料薬液+電気+水道)。市販価格が数百円~千円/L(当社調べ)であることを踏まえると、使用量が多くなるほどコストメリットは大きい。そのため他社製品との差異化機能として電解水を取り出すことのできる機能を付加した。電解水の生成ラインの流路切り替えによって本体下部の子扉から機外に取り出すことができる(図11)。開発中に特に重要となった課題は以下の点である。



図11 微酸性電解水の取出し
Fig. 11 Produce of Slightly Acidic Electrolyzed Water

4.3.1 取出しノズル高さの可変構造

電解水取出し時に様々な高さの容器に対応するために、取出し扉はノズルの高さを変えられるようにヒンジ構造にした。ヒンジはトルクヒンジを使用し、任意の高さでノズルを止められるようにした(図11)。

4.3.2 取出しノズルからの水垂れ防止

開発中、取出し終了後にホース内の電解水が垂れて機内を濡らすことがあった。解決策として取出し経路のホース内径を直径6mmから8mmに変更した。内径を太くし取出し終了後に空気を逆流させやすくし、ホース内にたまる電解水の量を減らした。また、取出しノズルの下方には蒸発シートを設置した(図12)。ノズルから垂れた電解水は蒸発シートに吸収させ、蒸発させることとした。

4.3.3 直感を重視した操作パネル

ユーザーにストレスなく使用してもらうために、除菌水の取出しはタッチパネルで直感的に操作できるようにした。また、取出し操作手順を説明する動画を実装し、取出し中に参照できるようにした(図11右)。

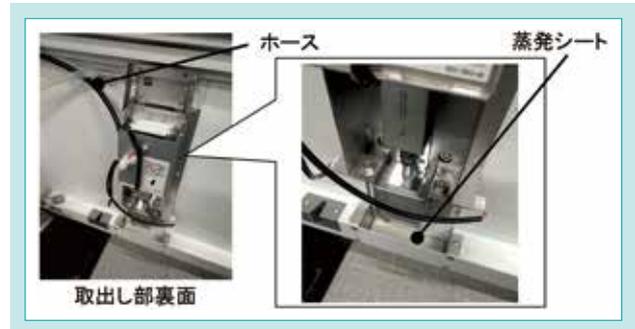


図 12 取出し部裏面

Fig. 12 Rear View of Produce Part

4-4 パブリックスペース向けのデザインと高い操作性

パブリックスペース向けの加湿空気清浄機として多様な設置環境にマッチするデザインとすることは製品の付加価値を高める上でも重要である。エアワッシャの効率を上げることで本体サイズを小さくするとともにデザインの改良を行った。コンセプトは「パブリックスペース用として存在感と高級感があり、他社製品にはない独自のデザイン」とした。

見栄えと操作性を重視して、本体前面に9インチ広視野角のタッチパネルを取り付ける仕様とした。タッチパネルによる直感的な操作により高い操作性を実現させると同時に、運転中は水による空気清浄をアピールするアニメーションを表示するなどグラフィカルな演出により高級感を出している。また、空気吹き出し部には空気清浄機能をアピールするため青色LEDを搭載した。日刊工業新聞社が主催する第47回機械工業デザイン賞では日本産業機械工業会賞を受賞し、室内にマッチする高級感のあるデ

ザインとしてエンドユーザーや販売店からは高評価を得ることができている。



図 13 ピュアウォッシャーの外観

Fig. 13 External Appearance of Purewasher

5. おわりに

クリーンルーム用エアワッシャの水噴霧技術と微酸性電解水による除菌技術をコア技術としてパブリックスペース用の業務用加湿空気清浄機を開発した。室内設置用とするためエアワッシャはクリーンルーム用サイズからコンパクト化するとともに、性能面においては目標とする加湿、除菌、消臭性能を達成することができた。除菌剤には微酸性電解水を採用すること

でピュアウォッシャー機内の衛生状態の維持と安全性を両立した。また、微酸性電解水の取出し機能をつけることで他社製品との差異化を行い、製品の付加価値を高めた。今後は品質改善、コストダウンを継続するとともに本製品のコア技術を主軸としたシリーズ展開を通してさらなる事業拡大を目指す。

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 空気を感染経路とする感染性疾患の予防に貢献

トンネル内配管用新耐震型ダクティル鉄管US形R方式の開発

Development of New Earthquake-Resistant Ductile Iron Pipe US-R Type for Piping in Shield Tunnel

パイプネットワーク技術部

昨今、大規模事業体において、大口径の基幹管路の更新事業が多く計画されている。大口径管路の工事は、道路下に構築したシールドトンネル内で配管されることが多く、これまで実績のあるUS形ダクティル鉄管が採用されてきた。しかしながら、鋼管との競争が激しさを増す中、工事期間の短縮やシールドトンネルの曲線部における管路布設費の低減等、客先からUS形ダクティル鉄管に対する改善要望を頂いてきた。そこで、様々な要望に応えることができるシールドトンネル内配管用の新しい耐震型ダクティル鉄管「US形R方式」を開発した。

【キーワード】

新形状ゴム輪、ロックリングサポータ、角度付き直管、工事期間短縮、管路布設費低減

Recently, many large-diameter water pipeline renewal projects are being planned for large-scale water supply utilities. Construction of a large-diameter pipeline is often performed in a shield tunnel constructed under the road, and earthquake-resistant ductile iron pipes US type, which have a proven record, have been adopted to date. However, as competition in the steel pipe sector intensified, we got some hints from customers about improving the US type, such as shortening the construction period and reducing the installation cost at the curved sections of the shield tunnel. In order to respond to their demands, we developed a new earthquake-resistant ductile iron pipe, the “US-R type”.

【Key Word】

New Rubber Gasket, Lock Ring Supporter, Angled Straight Pipe, Shortening the Construction Period, Reduction of Pipeline Laying Cost

関連する SDGs



1. はじめに

大規模災害が頻発する昨今、安定した給水を行うため、日本では水道施設の強靱化が必要とされている。しかし、高度経済成長期に建設された基幹管路の多くは経年化し、更新時期を迎えて久しい。そのような中、東京都や横浜市等、大規模事業体において、大口径の基幹管路の更新事業が積極的に計画され始めた。

大口径管の工事は、占有スペースが大きく、交通事情等も考慮され、道路下に構築されたシールドトンネル内で行われることが多い(図1)。それらの工事では、これまで実績のあるUS形ダクティル鉄管(以下、US形)が主に用いられてきた。

しかし、地下の利用事情から、シールドトンネルの曲線施工が多用される近年、曲線区間における工事の長期化や管材料

費の上昇等が問題視されるようになってきた。一方、大口径市場において、鋼管との競争が激化しており、従来と同等の耐震性や耐久性を確保しつつ、より施工面やコスト面で優位性の高い製品が求められた。そこで今回、シールド内配管用の大口径新耐震管US形R方式(対象呼び径1500~2600)を開発した。

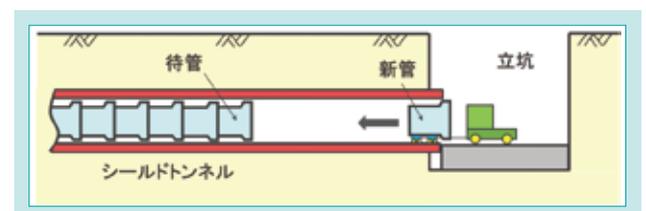


図1 シールドトンネル内工事のイメージ

Fig. 1 Image of Water Pipe Construction in Shield Tunnel

2. 開発のコンセプト

US形R方式の開発コンセプトを図2に示す。

- ・US形継手の施工における課題を解決できる新継手を開発することとした。
- ・競合する鋼管に比べ、管路布設費を同等以下に低減するため、曲線区間のコストダウンを実現できる角度付き直管を開発することとした。
- ・ダクタイル鉄管は工事期間が短い優位性がある。その優位性を確固たるものにするため、複数本同時搬送工法を開発することとした。



図2 US形R方式の開発コンセプト
Fig. 2 Development Concepts of US-R Type

3. 解決すべき課題

新継手、角度付き直管、複数本同時搬送工法の開発にあたり、解決すべき課題について以下に述べる。

(1)新継手

①施工管理が明確な水密機構の実現

US形は、受口に挿し口を挿入した後、押輪とボルトを用い、ゴム輪を受口と挿し口の間に押し込んで水密性を確保している。このボルトの締付作業において、ボルトのねじ出し量、もしくは締付トルク値の2つの施工管理方法を使い分ける必要があり、施工管理が作業者に委ねられていた(図3上)。

作業者に依らず施工管理方法を明確にするため、ボルトを用いない新しい水密機構の実現が求められていた。

②煩雑なモルタル充填作業の撤廃

US形継手(図3下)の接合では、接合部品(ボルト、継ぎ棒)の防錆のためにモルタルを充填する工程がある。このモルタルを充填する作業は煩雑であり、高い技能が求められるため、撤廃等の改善要望が多かった。

③接合時間の短縮が可能な離脱防止機構の実現

大口径管の離脱防止性能を発揮させるためには、ロックリングを挿し口外面に密着させるための部品が必要である。

US形はこの部品としてロックリング絞り用ゴムを使用しているが、接合時に挿し口を通過させるため、一旦ロックリングを拡径する必要があり、この作業に時間を要していた(図4)。

離脱防止性能を維持しつつ、ロックリング拡径作業を容易にすることで接合時間を短縮できる新しい離脱防止機構が求められていた。

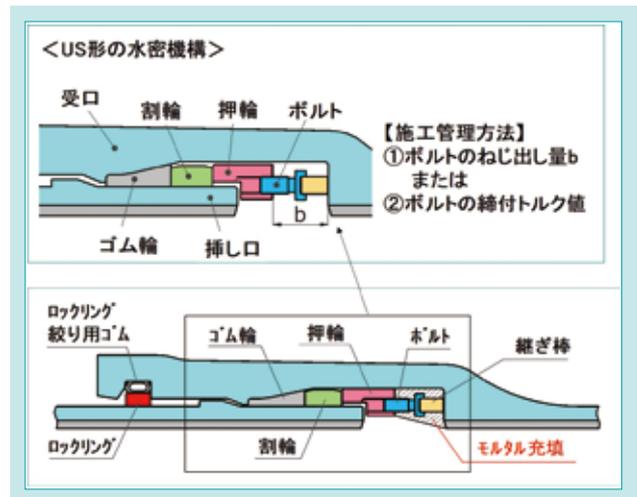


図3 US形継手
Fig. 3 Structure of US Type Joint

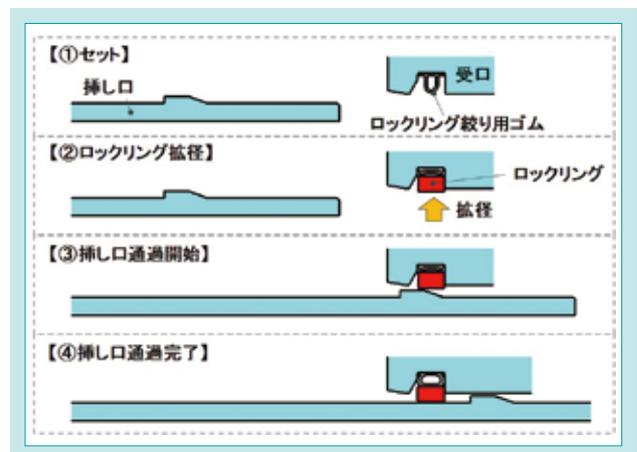


図4 US形の接合手順
Fig. 4 Jointing Process of US Type Joint

(2)角度付き直管

トンネル内配管の曲線区間では、曲管と直管を組み合わせて配管されることが多い(図5)。曲管はその製法上コスト高であり、管長も短いことから、曲線区間のコストは直線区間に対して高価となる。

曲線区間の頻度が高くなる中、曲線区間のコスト高が無視できなくなったため、コストダウン要望が高くなった。

(3)複数本同時搬送工法

トンネル内配管では、発進立坑からトンネル内の配管位置までの距離は数kmに及ぶ。管は台車に載せて1本ずつ搬送(図6)されるため、施工延長が長いほど管の搬送時間が長くなる。これにより、接合作業に手待ちが生じるなど、施工時間のロスが指摘されてきた。

この施工時間のロスを解消できる工法が求められた。

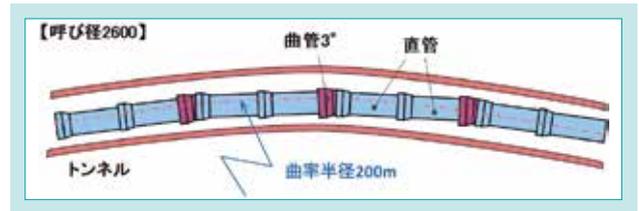


図5 曲線区間の配管例

Fig. 5 Example of Piping in Curved Sections

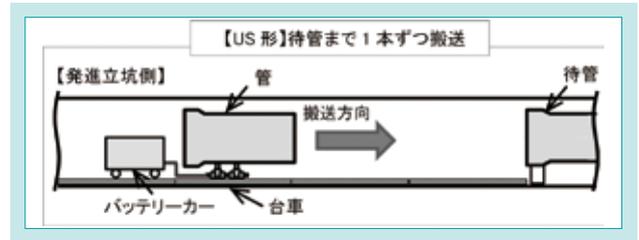


図6 シールドトンネル内配管における管搬送イメージ

Fig. 6 Pipe Transport in the Shield Tunnel

水・環境部門

1

トンネル内配管用新耐震型ダクタイル鉄管US形R方式の開発

4. 開発技術

4-1 新継手

4.1.1 US形R方式の継手構造

図7にUS形R方式の継手構造を示す。

挿し口で接合部品を覆う構造とし、煩雑で手間なモルタル充填作業を撤廃した。また、受口の短縮等による管の軽量化、接合部品の点数削減(7点⇒5点)によりコストダ

ウンを図った。継手の基本性能(水密性や耐震性)はUS形と同等とした(表1)。

表1 継手の性能目標

Table 1 Performance Target of Earthquake Resistant Joint

項目	性能目標
継手伸縮量	管長の+1%
離脱防止力	3DkN(D:呼び径 [mm])
許容曲げ角度	US形と同等
地震時に曲がり得る最大屈曲角度	US形と同等
水密性	US形と同等

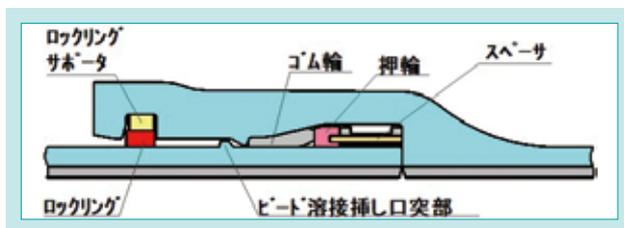


図7 US形R方式の継手構造

Fig. 7 Joint Structure of US-R Type

4.1.2 水密機構

(1)新形状ゴム輪

施工管理の明確化を実現するため、管の許容差を吸収できる新形状ゴム輪を考案した。現行ゴム輪は丸部と角部で構成されており、丸部が受口と挿し口の間に圧縮されることで水密性を発揮している。新形状ゴム輪は、丸部はUS形と同じとし、角部にクリアランスを設けた(図8)。ゴム輪収納部が大きい場合、ゴム輪はそのままでの形状で押し込まれ、ゴム輪収納部が小さい場合は、角部が圧縮されクリアランスを埋めるように変形する(図9)。これにより、ボルトを用いずとも、管の許容差を吸収できるため、一定の長さのスペーサをセットするだけで、水密性が担保されることとなる。施工管理はスペーサが正常にセットされているかの確認のみとすることができた。

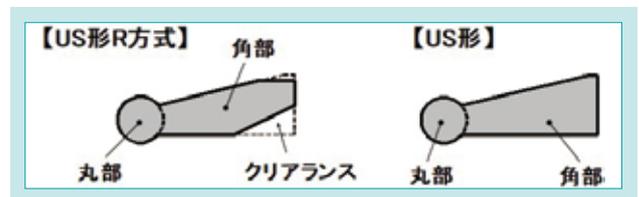


図8 ゴム輪の断面形状

Fig. 8 Rubber Gasket Sectional View

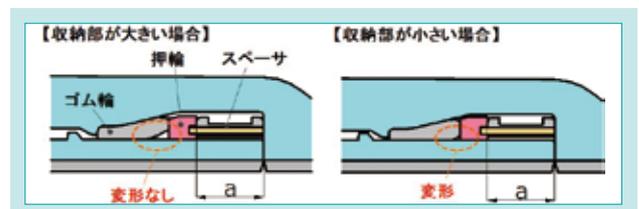


図9 収納部の大小によるゴム輪の変形状況

Fig. 9 Deformation of Rubber Gasket due to Clearance Between Socket and Spigot

(2)ゴム輪の挙動調査

新形状ゴム輪の接合時の挙動調査のため、FEM解析と現物の断面調査を実施した。

①FEM解析

FEM解析により、接合時のゴム輪の挙動を確認した結果、新形状ゴム輪は現行ゴム輪(US形)と同様に、丸部が所定の位置に収まることを確認した。また、接合後のゴム輪丸

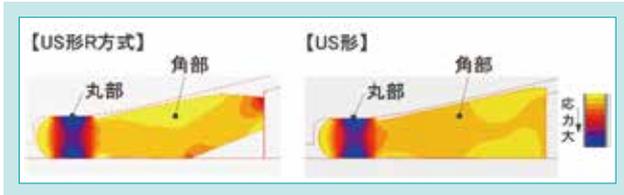


図 10 FEM 解析によるゴム輪の挙動調査結果
Fig. 10 Result of FEM Analysis of Rubber Gasket

部の応力分布も現行ゴム輪(US形)と同等であった(図10)。

②現物の断面調査

実際の継手断面とゴム輪ピースを用いて、接合時のゴム輪断面調査を行った結果、受挿し隙間の大小に応じて角部がクリアランスに圧縮変形し、設計通りゴム輪が所定の位置に収まることを確認した(図11)。



図 11 断面調査によるゴム輪の挙動調査結果
Fig. 11 Result of Section Survey of Rubber Gasket

(3)ゴム輪の面圧測定

試験片による断面調査および実管の接合により、ゴム輪の接合後の面圧測定を行った。その結果、いずれの調査についても接合後の面圧は現行品と同等であり、水密性を確保できる十分な値であることを確認できた(表2)。

表 2 ゴム輪の面圧測定結果

Table 2 Surface Pressure Measurement Result for Rubber Gasket

呼び径	条件		面圧測定結果	
	調査方法	受挿し隙間	US形R方式	US形
2600	断面調査	標準	1.1MPa	—
		最大	0.8MPa	0.7MPa
	実管の接合	最大	0.6MPa	0.6MPa

4.1.3 離脱防止機構

接合時に挿し口を通過させるためのロックリング拡張作業を容易にすることを目的とし、支持ピース(ステンレス板)と樹脂ピースを交互に連結して組み立てるロックリングサポータを考案した(図12)。支持ピースはロックリングを挿し口に押し付け、樹脂ピースは支持ピースを円周均等に配置するための部品である。支持ピースを円周全体ではなく、間欠に配置しているため、ロックリング絞り用ゴムを使用するUS形に比べ、ロックリング拡張時の力を大幅に低減でき、セット時間は呼び径2600の場合、35%短縮できた。また、接合後のロックリングの密着状態はUS形と同等であることを確認した。

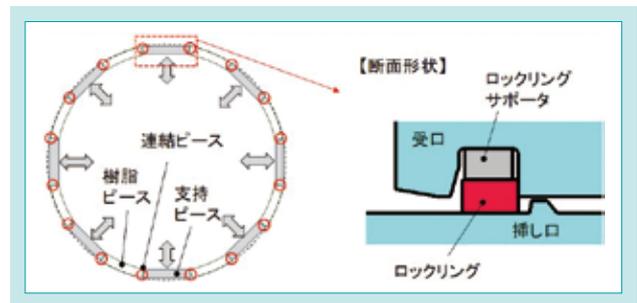


図 12 ロックリングサポータ
Fig. 12 Lock Ling Supporter

4.1.4 性能評価(呼び径2600の場合)

新継手の性能評価を行うため、呼び径2600直管の接合試験、離脱防止性試験および水密性試験を行った。

(1)接合試験結果

新形状ゴム輪、ロックリングサポータの開発等により作業時間は56.5分でUS形の99分から43%短縮できた(図13)。

(2)離脱防止性試験結果

継手部に引張り力を加えた結果、管長の1%以上継手が伸び出した後、3DkN(D:呼び径 mm)の引張り力に耐え、継手部が抜け出さないことを確認できた(図14)。

(3)水密性試験

継手部が真直状態、曲げ状態、地震時を想定して屈曲を繰り返す条件で水圧2.0MPaを加えても漏水がないことを確認できた(表3)。

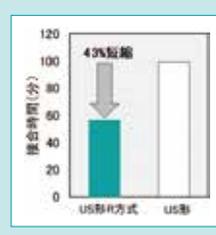


図 13 接合時間の比較
Fig. 13 Comparison of Joining Time

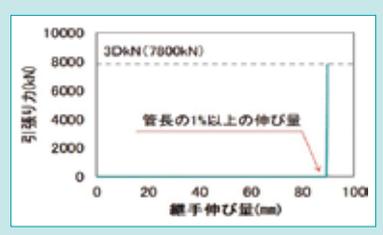


図 14 離脱防止性試験結果
Fig. 14 Result of Slip-Out Resistance Performance of Joint

表 3 水密性試験結果

Table 3 Result of Water-Tightness Test

呼び径	試験条件				試験結果
	継手状況	曲げ角度	負荷水圧	保持時間	
2600	真直状態	0°	2.0MPa	5分	漏水なし
	曲げ状態	1° 50'	2.0MPa	5分	漏水なし
	20回繰り返し曲げ状態	1° 50'	2.0MPa	5分	漏水なし

水・環境部門
1
トンネル内配管用新耐震型ダクタイル鉄管US形R方式の開発

4 - 2 角度付き直管

4.2.1 角度付き直管

角度付き直管は、受口内面を斜めに形成した直管である。直管と同じ遠心力鑄造で製造できるため、曲管に比べ安価となる。継手構造は直管と同じであり、接合方法も全く同じである(図15)。

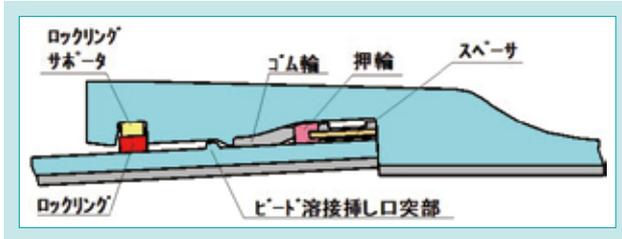


図 15 角度付き直管の継手構造
Fig. 15 Joint Structure of Angled Straight Pipe

図16上のように、US形ではトンネル内配管のほとんどの曲線区間において、直管と曲管の組み合わせで曲線管路を形成する。一方、US形R方式では、角度付き直管と直管を接合すればカーブ配管できる(図16下)ため、曲管を角度付き直管へ置換えることで曲線管路を形成できる。角度付き直管は管長が長いので、配管本数も削減することができ、US形R方式で構築する管路は曲線区間の管路布設費を大きく低減することが可能となる。

4.2.2 性能評価(呼び径2600の場合)

角度付き直管の性能評価を行うため、呼び径2600角度付き直管について、直管と同様の接合試験、離脱防止試験および水密試験を行った。その結果、全ての試験にお

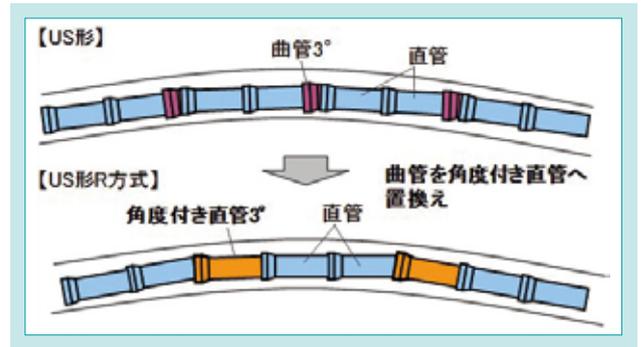


図 16 曲線区間の配管組合せの比較
Fig. 16 Comparison of Piping in Curved Sections

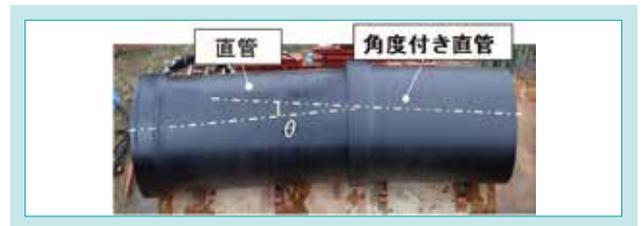


図 17 角度付き直管を用いた配管例
Fig. 17 Example Piping Using Angled Straight Pipe

いて、直管と同等の性能を有していることを確認でき、曲管の代替として問題なく使用できることがわかった。

4 - 3 複数本同時搬送工法

4.3.1 複数本同時搬送工法

トンネル内配管での管搬送において、従来のように1本ずつではなく、複数本同時に搬送できる工法を開発した。複数本を同時に搬送できれば、施工延長が長い場合に日進量(1日の施工延長)を伸ばすことができ、工事期間を短縮できる。

1例として、2本同時搬送工法について述べる。

管を2本同時に搬送した場合、図18に示すように前管を接合

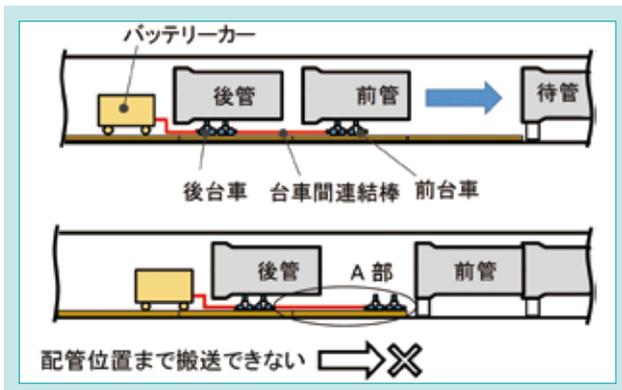


図 18 2本同時搬送した場合の課題
Fig. 18 Problem When Transporting Two Pipes

した後、空になった前台車と台車間連結棒(A部)が妨げとなり、後台車および後管を配管位置まで搬送できない課題がある。

そこで、図19に示すように台車間連結棒を撤去し、前台車を後管の下に収納することで、後管の配管位置までの搬送を可能とする台車の連結解除機構を開発した。

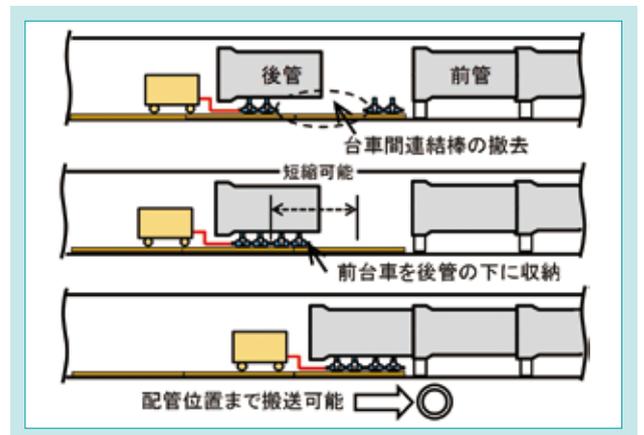


図 19 台車間隔を短縮可能な構造
Fig. 19 System that Can Shorten the Space between Bogies

図20に連結解除機構を示す。連結を解除する際は作業者が操作レバーを引くことで、支持板が外れ、作業者が管下に入らず台車連結棒を撤去することができた。

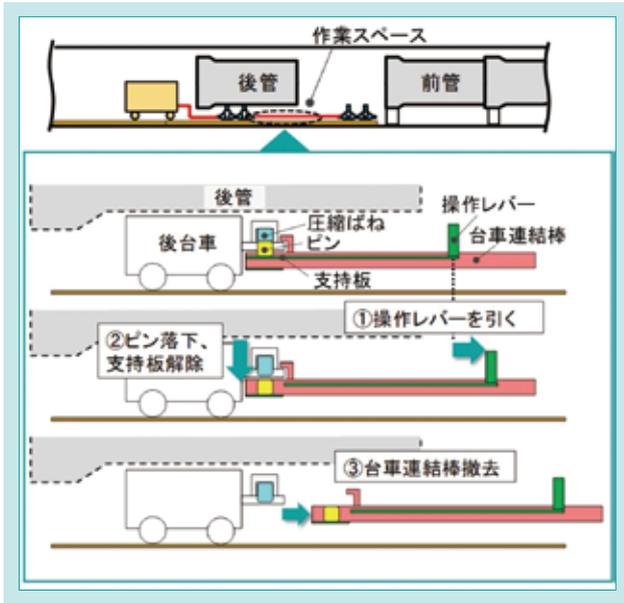


図 20 連結解除機構
Fig. 20 Uncoupling System

4.3.2 性能評価(呼び径2600の場合)

2本同時搬送工法の作業性を評価するため、図21に示す模擬トンネル内で、作業時間を測定した。表4に作業時間の測定結果を示す。

その結果、作業時間は目標作業時間(1継手の接合に要する時間)より短く、作業性は良好であることがわかった。

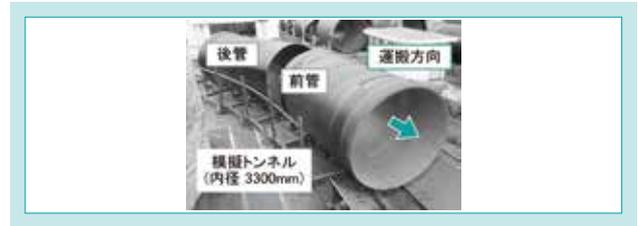


図 21 試験状況
Fig. 21 Test Status

表 4 作業時間の測定結果
Table 4 Result of the Operation Time

呼び径	試験内容	作業時間	試験結果
	主な作業		
2600	台車連結棒の解除	7分29秒	○
	後管下への前台車収納		
	再連結		

5. 開発の効果

US形R方式で構築した呼び径2600での3.5kmのモデル管路の設計結果例を表5に示す。

US形の場合、148本必要であった曲管を137本の角度付き直管に置き換えることが可能であり、接合口数も861本から824本に削減可能である。

その結果、管路布設費はUS形から29%低減し、鋼管と比べ同等のレベルまでコスト低減を達成できた(図22)。

表 5 設計結果例 (呼び径 2600 × 3.5km)
Table 5 Design Example of Model Pipeline (Nominal Diameter 2600×3.5km)

継手	直管 (本)	曲管 (本)	角度付き直管 (本)	接合口数 (口)
US形	712	148	—	861
US形R方式	676	10	137	824

工事期間は継手の接合スピードの向上と複数本同時搬送工法の効果を含めると、US形から26%短縮でき、鋼管との差を更に広げることができた(図23)。

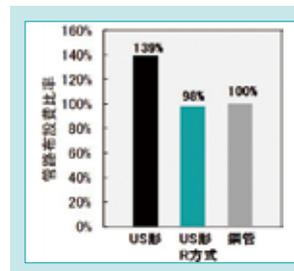


図 22 管路布設費の比較
Fig. 22 Comparison of Pipeline Laying Cost

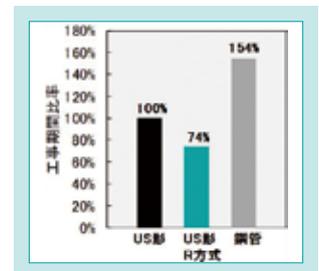


図 23 工事期間の比較
Fig. 23 Comparison of Construction Period

6. おわりに

大口徑市場向けに製品競争力を向上させた新たな耐震型ダクタイル鉄管US形R方式を開発した。

US形R方式は、(1)新継手、(2)角度付き直管、(3)複数本同時搬送工法の開発により、「施工品質向上」、「管路布設費低減」、「工事期間短縮」を実現することができた。

現在、採用活動を展開中であり、東京都などの大規模事業

体での採用が進んでいる。2020年3月から呼び径2600の管路にて初施工が東京都で予定されており、今後さらに本格採用が加速していくと期待している。

今後も継続して基幹管路の耐震化や更新事業に貢献できる製品、工法の開発に努めていく。

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 管路布設費を低減した水道管材の提供により上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 長寿命で自然災害に強い耐震管の提供により持続可能かつ強靱なインフラの開発に貢献

エチレン製造用分解管AFTALLOY+MERTの開発

Development of AFTALLOY+MERT as a Cracking Tube for Ethylene Production

鑄鋼技術部

エチレン製造用分解管は、石油化学産業のエチレン製造プラントの基幹部品である。今回、1996年から20年以上、世界21カ国・地域で延べ600炉以上の分解炉に採用されているクボタ独自技術の「MERT」に、耐コーキング性や耐浸炭性に優れることで、近年、世界各国の分解炉で採用が増加しているアルミ入り材の材料技術(クボタ製品名「AFTALLOY」)を結合させた高機能製品「AFTALLOY+MERT」を開発した。本製品を石油化学大手の商用炉に適用した結果、高評価を得て特命化されつつある。

本稿では、本製品の開発の一端について報告する。

【キーワード】

分解管、コーキング、攪拌エレメント、プラズマ粉体肉盛溶接、アルミナ成膜

Cracking tubes are a key part of an ethylene plant in the petrochemical industry. Recently, there has been an increase in the number of plants, especially ethane cracking furnaces, adopting alumina forming tubes because highly efficient production can be expected due to their coking- and carburizing-resistant properties. On the other hand, Kubota's proprietary technology, MERT (Mixing Element Radiant Tube), has been adopted in over 600 furnaces, mainly naphtha furnaces, since MERT was developed about 20 years ago. Therefore we have developed a top level functional product "AFTALLOY+MERT" which is a combination of AFTALLOY (Kubota's alumina forming tubes) and MERT technology. It has been installed in a commercial ethane cracking furnace of a major ethylene producer for performance evaluation. The results of the evaluation verified the excellent properties of the new product compared with the original MERT.

In this paper, we report on our development activities and the results.

【Key Word】

Cracking Tube, Coking, Mixing Element, Plasma Powder Welding, Alumina Forming

関連する SDGs



1. はじめに

1-1 開発の背景

エチレン製造用分解管(以下、分解管)は、石油化学産業のエチレン等の製造プラント(以下、エチレンプラント)で、管外面側の熱源により約1000~1100°Cに加熱され、管内を流下する原料のエタンやナフサ等を熱分解してエチレン等を生成する基幹部品である(図1)¹⁾。この時、発生する炭素(以

下、コーク)²⁾は、管内面に付着し、熱伝導率の低いコークが管内に堆積する(以下、コーキング:図2)ことで、熱伝達効率低下による管温度の上昇と圧力損失(以下、圧損)の増加を招く。そのため、管温度が材料許容温度に、又は圧損が許容上限に達した時点で、コーク除去作業(以下、デコーキン

グ)のために操業を中断しなければならず、エチレンプラントの稼働率やエチレンの生産性が低下する。

この顧客の課題の解決策の一つとして、クボタは、20年以上前に開発した独自技術のMERT^{※1}を提供してきた。そして、圧損増加要因にもなる攪拌エレメントのデザインに改良を重ね、圧損増加の軽減を図る(図4)等、継続的な開発を推進することで、2019年5月時点でナフサ原料の分解炉(以下、ナフサ炉)を中心に世界21カ国・地域で延べ600炉以上(図5)にMERTを供給するに至った。競合他社には、このMERT技術に対抗できる類似製品はなく、分解管市場でのクボタシェア約5割(2019年クボタ調査)の中核製品として寄与している。

一方、近年、特にエタンやプロパン等を原料とする分解炉(以下、ガス炉)で、耐コーキング性や耐浸炭性(浸炭が材

料寿命を律速)に優れ、高効率生産が期待されるアルミナ成膜能のある分解管⁴⁾を採用する顧客が増加する傾向にある。クボタは、2012年にアルミナ皮膜を管内面に形成した分解管AFTALLOY⁵⁾(図6)の販売を開始し、アルミ入りでない従来管に比べて2~4倍の連続操業日数(デコーキング間隔と同意)を達成する等の実績を積み重ね、顧客のエチレンプラントの稼働率やエチレン生産性の向上及びエネルギー効率の改善等に貢献している。

※1 Mixing Element Radiant Tube: 分解管の内面に形成した流体攪拌効果のある螺旋状の突起物(以下、攪拌エレメント)で、管内面を流れる流体原料に対して管外面の熱源からの熱伝達効率を高め、管温度を低減する技術: 図3³⁾

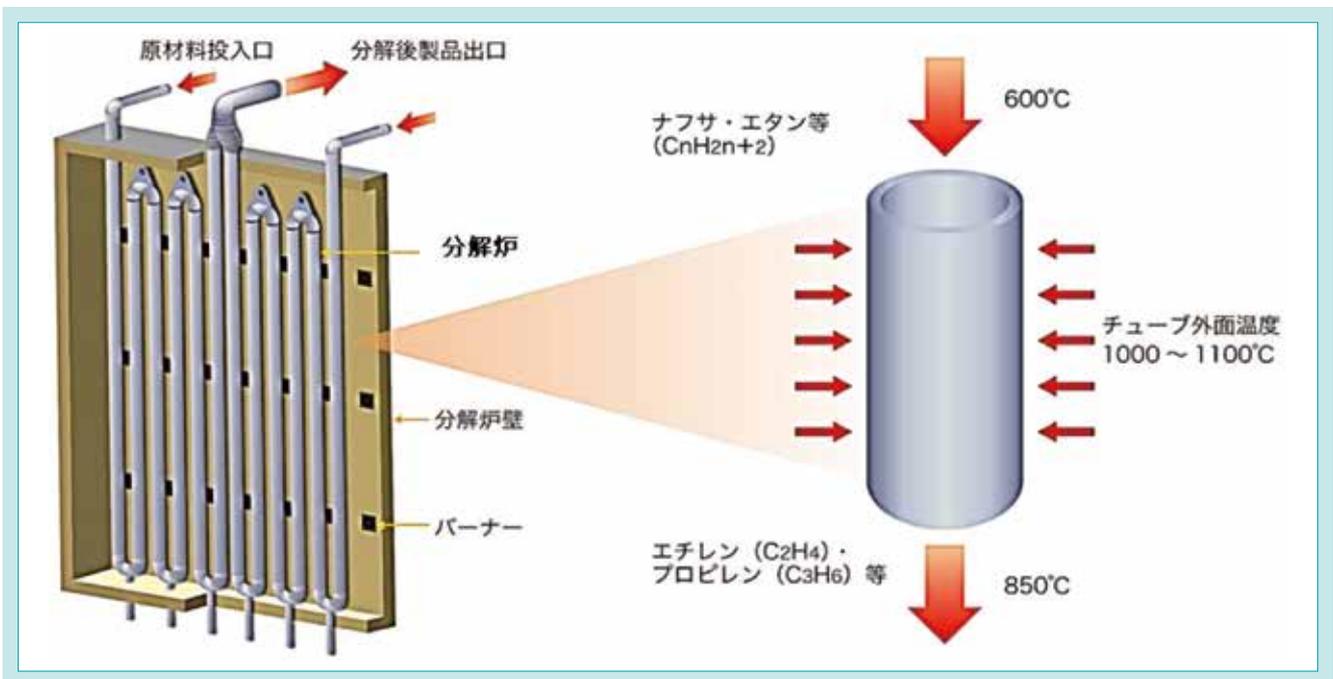


図1 分解管の使用環境¹⁾
Fig. 1 Cracking Tube in Cracking Furnace for Ethylene Production

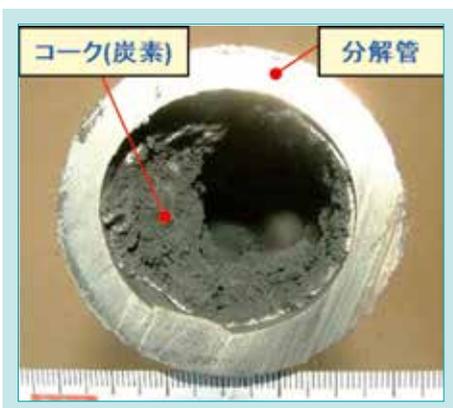


図2 管内の堆積コーク(コーキング)
Fig. 2 Coking in Cracking Tube



図3 MERTのカットサンプルの外観と組織
Fig. 3 Overview of MERT Cut Sample and the Microstructure

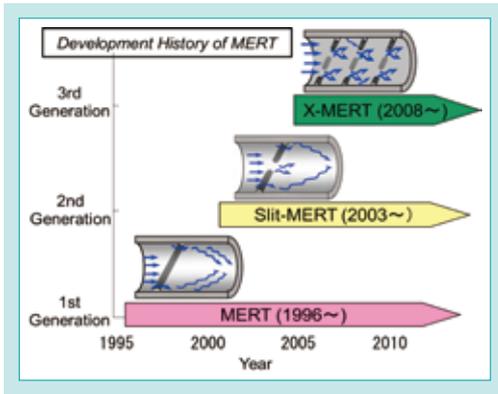
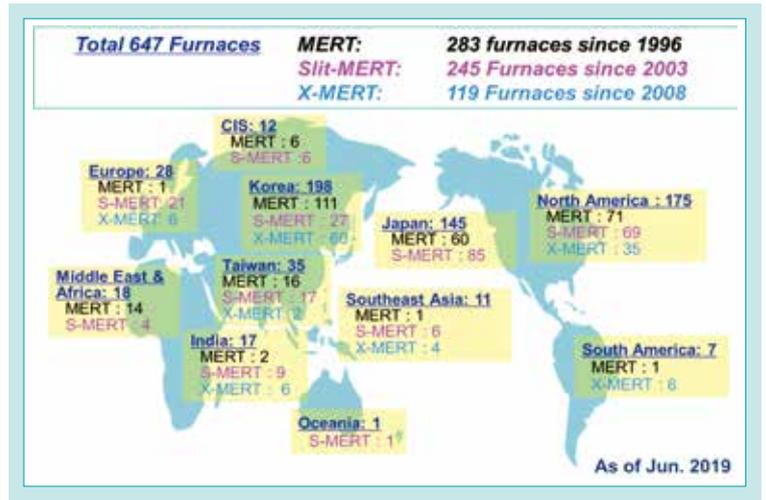


図4 MERTシリーズの開発経緯
Fig. 4 Development History of MERT



2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

AFTALLOY+MERTは、上述したMERT技術による管温度の低減効果に加えて、AFTALLOYとMERTの各技術が其々異なる種類のコークの発生を抑制する(表1)。

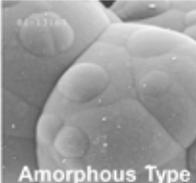
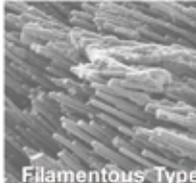
即ち、MERTは、管内面の攪拌エレメントで流体原料を攪拌し、管内面の境界膜を破壊することで、熱伝達効率を高めて管外面からの加熱による管温度の過昇温を抑えるとともに、管内面の温度分布を均一化することで、主に熱分解コーク(Pyrolytic Coke)の発生を抑制する。

一方のAFTALLOYは、アルミナ皮膜が管内面を被覆する

ことで、管素材の主構成元素のFeやNi等の触媒作用による触媒コーク(Catalytic Coke)の発生を主に抑制する。

AFTALLOY+MERTは、上述の管温度低減効果とコーク発生抑制効果で、各技術単独の製品に比べて、エチレンプラントの操業律速の2大因子である管温度の上昇と圧損の増加をより一層軽減し、エチレンプラントの稼働率やエチレン等の生産性の更なる向上が期待される。また、エチレンプラントの原料の多様化に対応する技術としても期待される。

表1 分解炉で発生する主なコークの種類とその生成及び抑制の機構
Table 1 Two Kinds of Coke and Anti-coking Mechanism in Cracking Furnace

Item	Pyrolytic Coke	Catalytic Coke
Main Coking Mechanism	 Amorphous Type Excessive Cracking in Over Heated Zone	 Filamentous Type Catalysis of Ni, Fe in Cracking Tube Material
Technology for Anti-coking	MERT by Mixing Elements	AFTALLOY by Alumina Film
Ethane Furnace	Approx. 20%	Approx. 80%
Naphtha Furnace	Approx. 70%	Approx. 30%

2-2 目標値

AFTALLOY+MERTの開発目標値は、従来MERTに対して、連続操業日数を2倍以上とした。ただし、その時の原料は、AFTALLOYで効果が認められているエタンやプロパン

等のガス原料に限る。それは、上述したようにナフサ原料で主に発生するコークは熱分解コークであり、それはMERTの効果で十分に抑制されていると考えられるからである。

3. 解決すべき技術課題

AFTALLOY+MERTの開発は、既存技術の単純な組合せではなく、主に次に示す2点の課題を解決する必要があった。

1) 粉体材料の開発

管内面の攪拌エレメントは、プラズマ粉体肉盛溶接(Plasma Powder Welding、以下PPW)で形成される(図8)ため、溶接性と攪拌エレメント上でのアルミナ皮膜の形成能力(以下、アルミナ成膜性)を兼備した粉体材料の開発

2) 管内表面加工技術の開発

基材のみならず攪拌エレメントを含む管内表面全面にアルミナ皮膜を形成させるため、攪拌エレメント形成後の管内表面をアルミナ成膜に適した表面性状にするための効率的かつ均一に加工する製造技術の開発

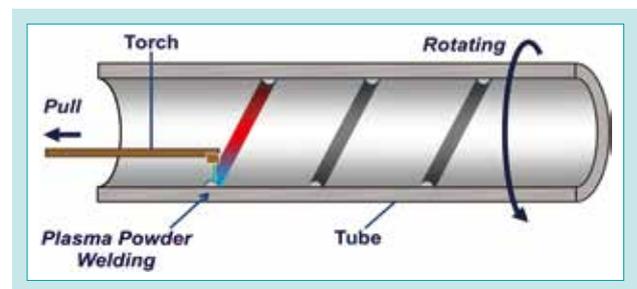


図8 PPWによる管内の攪拌エレメント形成方法
Fig. 8 PPW Method for Building MERT Elements

4. 開発技術

4-1 粉体材料の技術

4.1.1 粉体材料技術の課題

攪拌エレメントのアルミナ成膜性を確保する合金元素であるアルミ(Al)の増加は、材料の溶接性を悪化させた

め、アルミナ成膜性だけでなく溶接性も考慮した合金設計が課題となる。

4.1.2 粉末材料技術の課題

そこで、合金元素のニオブ(Nb)等を添加し、炭化物析出による結晶粒界強化で溶接性を改善し、PPWによる攪拌エレメントの形成性を確保した。また、従来粉体材料に比べてシリコン(Si)を低減し、Si酸化物の形成を抑制することで、アルミナ成膜性を確保した(表2)。

ア)を用いて、SiやNbの適正濃度範囲を事前に評価することで、試作回数の低減を図った。しかしながら、従来の粉体材料や基材AFTALLOYの知見の蓄積が、何よりも合金設計を円滑に進めたと言える。

合金設計に際しては、Thermo-Calc^{※2}(熱力学データベース)を利用して平衡状態図計算を行うためのソフトウエ

※2 Thermo-Calc Software AB社の商標

表 2 AFTALLOY+MERT の基材と攪拌エレメント粉体材料の主な化学組成

Table 2 Main Chemical Composition of Base Metal & MERT Powder

wt%	C	Si	Cr	Ni	Al	Nb	Other	Fe
Base metal AFTALLOY	0.4/0.6	<1.0	20/30	25/40	2.0/4.0	<1.0	add.	bal.
Original MERT Powder	0.1/0.6	<4.0	20/50	30/50	<4.0	<4.0	add.	bal.
AFTALLOY+MERT Powder	0.1/0.6	<1.0	20/50	30/50	2.0/6.0	0.5/2.0	add.	bal.

※特許等公開情報の記載に沿った数表示

4-2 管内表面の加工技術

4.2.1 管内表面加工技術の課題

分解管の寸法(内径、外径、肉厚等)は、顧客の要求仕様で定められ、PPWで形成する攪拌エレメントの寸法(高さ、幅、分割数等)と螺旋角度は、顧客の作業条件に基づくクボタ独自の解析手法で決定する。攪拌エレメントは、機械加工のような定型形状ではなく、PPWで形成されるため、その配列デザインもMERT、Slit-MERT、X-MERTと多種多様に施工することができる(図9)。

的かつ均一に加工する必要があったが、そのような技術を保有していなかった。



図 9 MERT の攪拌エレメントの配列デザインの多様性

Fig. 9 Design of Several MERT Elements

一方、アルミナ皮膜形成に適した表面性状を付与するためには、多種多様な攪拌エレメントのある管内面を効率

この加工技術は、長期間、積み重ねた多数の実験データに基づいて、標準化することができた。残念ながら、その詳細は、製造ノウハウのためここでは割愛する。

4.2.2 管内表面加工技術の解決策

社内外の技術を探した結果、適切な加工技術を見出すことができ、その加工装置をAFTALLOY+MERT用に開発し、実用化することができた。

4-3 開発品の評価

上述の開発の結果、アルミナ成膜能のある攪拌エレメントを含む管内面を効率的かつ均一に加工し、従来のAFTALLOYと同じ成膜酸化処理を施すことで、攪拌エレメントを含む管内表面全面にアルミナ皮膜を安定的に形成することができた(図10)。

本開発品は、重要顧客のエタン原料の商用炉で実際に使用され、同一条件の従来MERTに対するAFTALLOY+MERTのコーク堆積率(代替指標としての管内圧力上昇率)が極めて低く、期待通り良好であり、従来MERTよりも2倍以上の連続操業日数に到達すると推算される結果を得た。

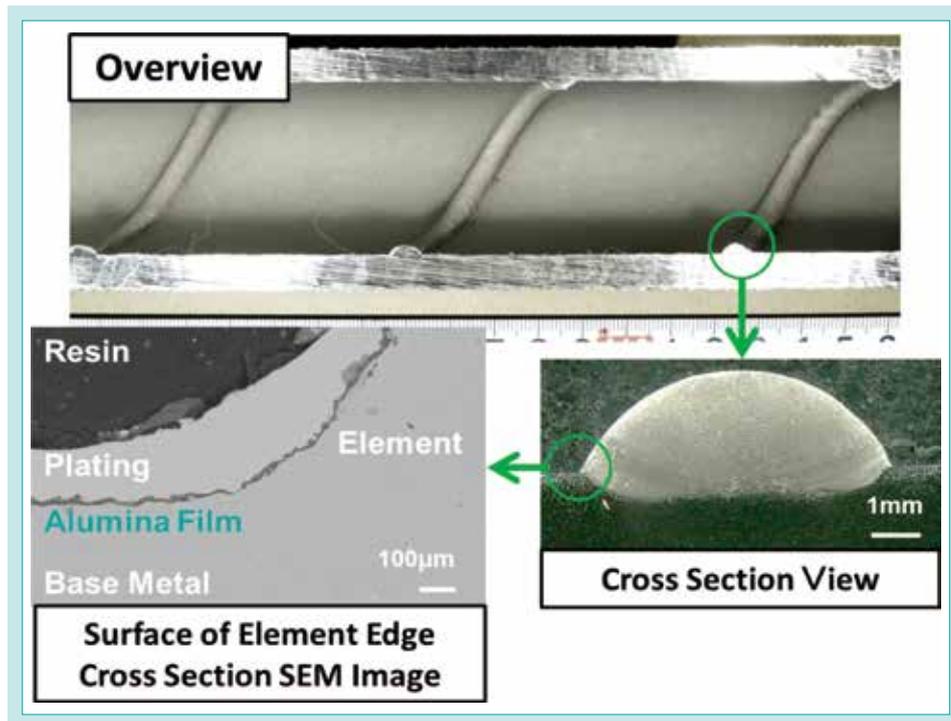


図 10 AFTALLOY+MERT の内面外観と攪拌エレメント断面詳細

Fig. 10 Overview of AFTALLOY+MERT Inner Tube and Detailed Cross-section View of an Element

5. おわりに

今回、アルミナ成膜能と攪拌エレメント形成能を兼備した AFTALLOY+MERT用の粉体材料を開発するとともに、攪拌エレメントを含む管内表面にアルミナ皮膜形成に適した表面性状を付与するための加工技術を開発することで、既存技術の MERTとAFTALLOYを結合した新製品AFTALLOY+MERTを開発することができた。

そして、重要顧客の商用炉での実証試験で、AFTALLOY+MERTは、従来MERTに比べて2倍以上の連続操業日数に到達すると推算される結果を得た。本顧客からは、「究極の分解管」との高評価を頂き、リピートオーダーとともに長期の更新・新設計画で、AFTALLOY+MERTの適用を示唆され、本開発品の市場への展開が具体化した。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 エタン原料の場合、従来MERTに比べ連続操業日数2倍以上に貢献

9.4 環境に配慮した技術の導入による産業改善 エチレン生産効率向上による燃料消費に伴うCO₂排出量削減

12.2 天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用 高Ni高Crステンレス材の分解管の寿命延伸で、原材料の鉱物資源の効率的な利用に貢献

参考文献

- 1) Kubota: 分解管、https://www.kubota.co.jp/product/materials/products/cracking_coil/、(参照日 2019-9-17)
- 2) Jafar, Towfighi et al.: Coke Formation Mechanisms and Coke Inhibiting Methods in Pyrolysis Furnaces, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 35, No. 10(2002), pp. 923-937
- 3) Kubota: MERT、https://www.kubota.co.jp/product/materials/products/cracking_coil/mert.html、(参照日 2019-9-17)
- 4) Steffen, H. Symoens et al.: State-of-the-art of Coke Formation during Steam Cracking: Anti-Coking Surface Technologies, Ind. Eng. Chem. Res. 2018, 57, 16117-16136
- 5) Kubota: AFTALLOY、https://www.kubota.co.jp/product/materials/products/cracking_coil/aftalloy.html、(参照日 2019-9-17)

省電力型直胴遠心脱水機の開発

Development of the Energy-saving Cylindrical Dewatering Centrifuge

環境プラント技術部／環境プラント設計調達部

近年、下水道事業においても省エネ化への取組みが喫緊の課題となっており、下水処理設備はこれまで以上にエネルギー消費量の削減が求められている。下水汚泥の減容化で用いられる遠心脱水機は、汚泥性状の変動に強い、難脱水汚泥への適用性が高い、大規模処理が可能で処理安定性が高いといった特長を持ち、広く採用されている一方で、他の脱水方式と比較すると消費電力が高く、電力の一層の低減が課題となっている。

クボタの直胴型遠心脱水機は環境プラント事業における主力機種となっており、脱水性能に関して高い評価を得ているが、客先の省エネニーズに応じるためにはより一層の消費電力削減が必要であった。

本稿では直胴型遠心脱水機の消費電力を低減し、遠心脱水機で業界No.1の省エネ性能を有する省電力型直胴遠心脱水機の開発について報告する。

【キーワード】

下水道、遠心力、脱水機、ケーキ含水率、省エネ

In recent years, initiatives to save energy have become an urgent issue in the sewerage business, and sewage treatment facilities needs to reduce energy consumption more than ever. Dewatering centrifuges, used in the treatment sewage sludge, are widely used because they have such features as being resistant to fluctuations in sludge properties, are highly suitable for treating difficult-to-dewater sludge, capable of large-scale treatment, and are characterized by their high processing stability. However, on the other hand, compared with other dehydration methods, power consumption is high, and further reduction in power consumption is an issue. Kubota' cylindrical dewatering centrifuge has become a major player in the environmental plant business, and has been highly evaluated for its dewatering performance. In this paper, we report the development of an energy-saving cylindrical dewatering centrifuge which has the lowest power consumption in the industry.

【Key Word】

Sewer, Centrifugal Force, Dewatering Machine, Moisture Content, Energy-saving

関連する SDGs



1. はじめに

1-1 直胴型遠心脱水機の開発背景

近年、下水道事業においても温室効果ガス発生量の縮減が求められ、下水処理施設の省エネ化への取組みは喫緊の課題となっている。下水処理施設は川や海の水質が改善するなど、国民生活に不可欠な社会資本として79.3%¹⁾まで普及が進んできている。しかしその反面、下水道は我が国の年間消費電力量の約0.7%²⁾を占める大口需要家(100万kW級の原子力発電所1基分の年間電力使用量)となっており、下水処理施設はより一層の省エネ化が求められている。

下水処理場において汚泥処理工程は、汚泥を減容化・無害化する上で必要不可欠である。汚泥は、濃縮・脱水工程により減容化した後、更なる減容化と有効利用のために焼却等の後段設備へ送るか、そのまま場外処分される。脱水工程で用いられる汚泥脱水機は、脱水ケーキ(以下、ケーキ)の低含水性能(以下、脱水性能)が後段設備の建設・運転コストや場外処分費に影響するため重要な処理装置である。

遠心脱水機は、汚泥性状の変動に強い、脱水しにくい汚泥

への適用性が高い、大規模処理が可能で処理安定性が高いといった特長を持ち、これまで広く採用されている一方、高速回転機器のため消費電力が他の脱水方式に比べ高いという欠点があり普及が限定的であった。また近年は脱水設備の改築更新時において省スペースで脱水機周りの維持管理動線が広くとれるコンパクトな脱水機が求められている。

クボタは、従来のデカンタ型高効率遠心脱水機よりも脱水性能を向上させることを目的として2000年に直胴型遠心脱水機を開発・上市した。その結果、直胴型遠心脱水機は脱水性能で高い評価を得て、2019年時点において77台(処理量:3~60m³/h)の受注を達成し、環境プラント事業における主力機種となっている。

しかし近年、海外より省エネ・省スペース型の遠心脱水機が

導入されており、クボタは近年の省エネニーズに応えるため、直胴型遠心脱水機においても消費電力を低減し、脱水性能だけでなく省エネ性能においてもNo.1となるべく改良開発を行う必要があった。以下にその開発内容について紹介する(図1)。



図1 省電力型直胴遠心脱水機
Fig. 1 Energy-saving Cylindrical Dewatering Centrifuge

1-2 直胴型遠心脱水機の概要

遠心脱水機は、物質の比重差を利用し、遠心力によって固液分離する機械である。高速回転するボウルに汚泥と高分子凝集剤を投入して水分を除去しやすい凝集汚泥を形成させ、重力の数千倍の遠心力によって固形分と液体とに分離し、スクリーンで固形分のみを連続的に搬送排出する。遠心脱水機においては遠心力の大きさと脱水時間(機内容積÷投入汚泥量)が脱水性能を決定する主要な設計因子であり、これらが大きいほどケーキ含水率は低減する。

直胴型遠心脱水機は以下の優れた特長を有する。

①直胴型ボウル

ボウル形状を円筒型としたことにより、一般的なデカンタ型(円筒部と円錐部を組み合わせた構造)に比べ最大遠心力が長く作用する。また、ボウル内の汚泥層が厚いことから、汚泥に加わる圧密力を増大できる。

②テーパ型スクリーンコンベア

スクリーンコンベア形状をテーパ型としたことで体積減少に伴う強い圧搾力を加えることができる。

③隙間構造

ケーキ排出部を隙間構造とすることにより、排出部におけるケーキ圧搾力を高くできる。また、ボウル壁面にある最大遠心効果を受けた、含水率が最も低いケーキのみを排出できる(図2参照)。

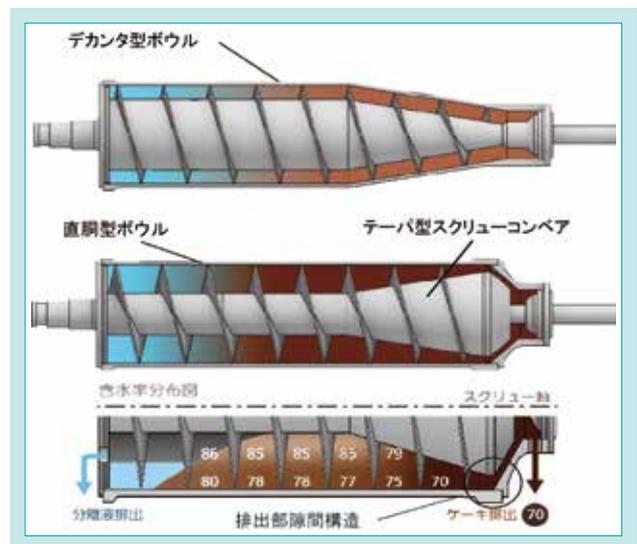


図2 直胴遠心脱水機内部構造
Fig. 2 Cylindrical Dewatering Centrifuge

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

現行機の脱水性能を維持したまま業界最高水準の低消費電力に進化したコンパクトな直胴型遠心脱水機を開発コンセプトとした。

また直胴型遠心脱水機の独自構造を保ちながらボウル

径を小径化し、さらに差速装置を油圧式からギア式に変更し、電動機の設置位置を見直すことを基本方針とした。またラインナップは標準処理量3m³/h~60m³/hの計10機種とし、処理量は標準処理量の0.7~1.5倍程度とした。

2-2 目標値

開発目標値は消費電力 $0.9\text{kWh}/\text{m}^3$ 以下、脱水性能は現行機と同等とした。また設置面積は現行機30%ダウンとした。

3. 解決すべき技術課題

3-1 省エネ性能と脱水性能の両立への課題

遠心脱水機において消費される電力は

- ①無負荷電力：汚泥が入らずとも高速回転を維持するために必要な電力
- ②分離液・固形物排出電力：分離液・固形物に回転加速エネルギーを与えるのに必要な電力
- ③搬送電力：回転するボウルに形成された汚泥層をスクリーコンベアにより搬送するのに必要な電力

の3つに分類することができる。

現行機の消費電力の内訳を図3に示す。

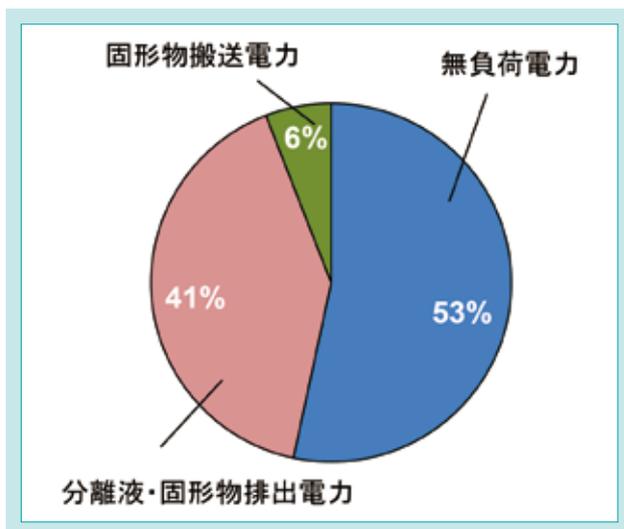


図3 現行機の消費電力内訳

Fig. 3 Power Breakdown of Dewatering Centrifuge

図に示すとおり、無負荷電力および分離液・固形物排出電力が全体の94%の消費電力を占める。このことから、無負荷電力および分離液・固形物排出電力を中心に消費電力を削減し、脱水性能を決定する主要な設計因子である遠心力と脱水時間(機内容積÷投入汚泥量)を現行機

から維持しつつ省エネ性能と脱水性能の両立を図る必要があった。

消費電力のうち53%を占める無負荷電力は、主に風損(ボウルの高速回転に伴う空気摩擦抵抗)によって生じており、ボウル径を小さくすることが電力低減に寄与する。しかし単純にボウル径を縮小すると機内容積が減少するため、脱水時間の減少、すなわち脱水性能の悪化につながる。機内容量を維持しつつボウル径を小さくするためにはスクリーハブ径を小さくする必要があるが、現行機の構造ではスクリーを構成するスクリージャーナルに軸受を配置しており、スクリー剛性を維持するためにスクリーハブ径をこれ以上、小径化できないという課題があった。

一方、消費電力のうち41%を占める分離液・固形物排出電力は、投入される汚泥に遠心力を与え加速するためのエネルギーであり、高速で排出される分離液・固形物の運動エネルギーと等価なためボウル回転数と排出径に依存する。このうち回転数は遠心力に影響を与えることから変更は難しいため、分離液・固形物排出電力削減のためには排出径を小さくする必要があった。

しかし分離液排出径はボウル軸に設置された軸受のレイアウト上、ボウル軸径が障害となり、これ以上径を小さくすることは難しく、スクリー剛性を維持しながら小径化を両立することが難しいという課題があった。

また分離液が高速で半径方向に排出される際に失われるエネルギーはこれまで有効に活用することができなかった。

3-2 脱水機設備のコンパクト化への課題

脱水機のコンパクト化を進めていくにあたり、回転体の主要部品であるボウルやスクリー周りの構造を見直すだけでは大幅なコンパクト化は見込めないため、補機類を含めたレイアウトの最適化が必要であった。

現行機は回転体駆動用の主電動機を本体ベースに設

置しているためベース幅が広く、コンパクト化の阻害要因であった。

また差速装置が油圧式であり、油圧モータを駆動するために脱水機とは別置きで差速用油圧ユニットを設置する必要があり、設置面積が広くなる要因となっていた。

4. 開発技術

4-1 省エネ性能と脱水性能を両立する技術

スクリーハブ径低減及び分離液排出径を低減するため、スクリーを小径化しつつ軸受をスクリー内に配置する新設計(図4参照)を採用した。これによりスクリージャーナルを不要にでき、かつボウル軸内の軸受スペースを削減できたことからボウル軸径を小径化し、分離液排出口径も縮小することが可能となった。これらの結果、遠心力と機内容量(脱水時間)を維持しながら無負荷電力及び分離液排出電力の大幅な低減を実現した。

また分離液排出エネルギーを有効活用するため、分離液の排出方向を半径方向から接線方向に変化させ、分離液の噴射反力を回転力に変えることでボウル回転力をア

シストする機能を備えた分離液越流板 e-ブースター(図5参照)を新設計することにより、分離液排出電力をさらに低減した(図6参照)。

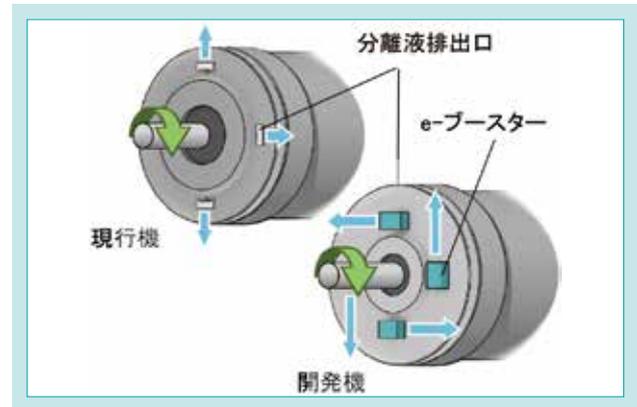


図5 分離液排出口周りの設計変更

Fig. 5 Design Change Around the Separation Liquid Outlet

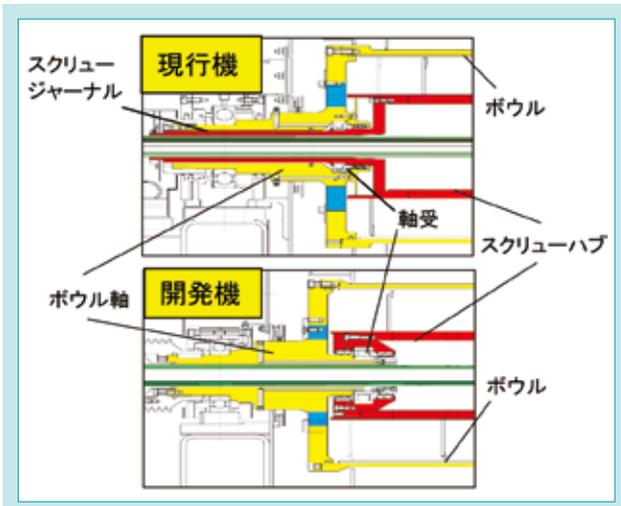


図4 スクリュー周りの新設計

Fig. 4 New Design Around Screw

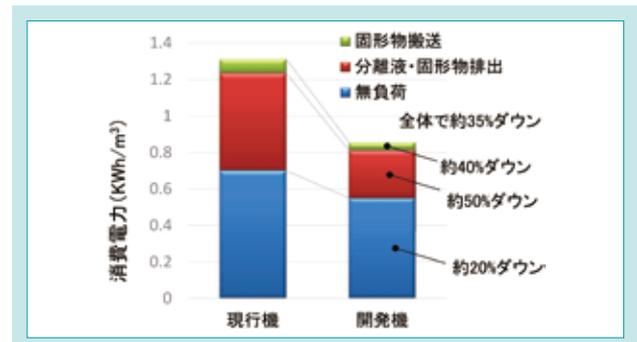


図6 消費電力の低減結果

Fig. 6 Result of Power Consumption Reduction

4-2 脱水機設備のコンパクト化

脱水機本体ベースに設置していた電動機を回転体に対して下部に設置することでベース幅を縮小し、コンパクトにした。さらに中小型機については、差速装置を油圧モータから遊星歯車減速機に変更することで油圧ユニット

が不要となるため設置面積を30~40%低減し、開発目標を達成した(図7参照)。なお電動機設置位置や差速装置の変更による耐久性への影響は試作機で差速安定性、振動計測を行い問題ないことを確認した。

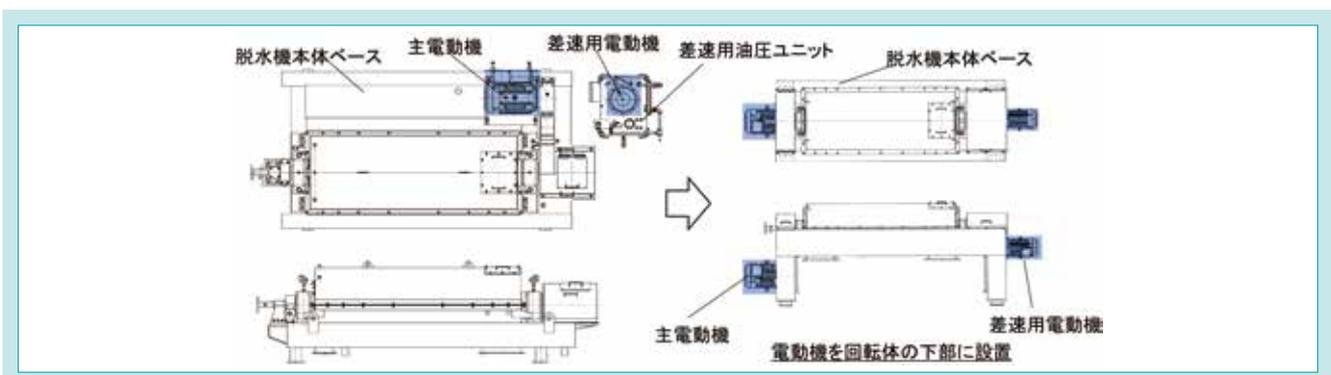


図7 脱水機設備のコンパクト化

Fig. 7 Compact Dewatering Centrifuge

5. 開発技術による実証試験

5-1 試験機仕様及び試験フィールド

3ヶ所の下水処理場で、開発機と現行機の性能比較試験を行った。実証試験に使用した試験機の仕様を表1に示す。

試験フィールドは脱水性能に差が生じやすい難脱水性の消化汚泥(下水汚泥を嫌気性消化した汚泥)もしくは処理量の差による省電力性への影響が評価可能な易脱水性の混合生汚泥(最初沈殿池汚泥と余剰汚泥を混合した汚泥)とした。

また比較対象機はA処理場では現行試験機とし、B・C処理場は既設現行機(試験施設に既に納入済みの現行機)とした。試験施設の概要を表2に、また汚泥性状を表3に示す。

A処理場及びB処理場の汚泥性状は一般的な消化汚泥に比べるとVTS(有機物濃度)が極めて高く、難脱水性である。一方、C処理場は一般的な混合生汚泥に比べ繊維状物が高く、易脱水性である。

表1 試験機仕様

Table 1 Test Machine Specification

	直胴型遠心脱水機
定格処理量	7~20m ³ /h機
定格遠心効果	2500G
電動機出力	主電動機:22kW 差速用電動機:7.5kW

表2 試験施設概要

Table 2 Test Facility Overview

	A処理場	B処理場	C処理場
排除方式	分流式	分流式	分流式
水処理方式	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
対象汚泥	消化汚泥 (分離濃縮)	消化汚泥 (分離濃縮)	混合生汚泥 (分離濃縮)

表3 汚泥性状

Table 3 Sludge Properties

		A処理場	B処理場	C処理場
分析項目	単位	消化汚泥	消化汚泥	混合生汚泥
TS	%	1.22	1.7	1.3
SS	%	0.97	1.48	1
VTS	%/TS	75.1	72.5	80.2
繊維状物	100mesh %/SS	3.94	2.38	22

5-2 試験結果

1)A処理場

薬注率とケーキ含水率の関係を図8に示す。薬注率を上げる程、ケーキ含水率は低下し、薬注率1.5%で78%程度のケーキ含水率が得られた。一方、消費電力は0.90kWh/m³が得られ、現行機の1.2kWh/m³に対して約25%の省エネ化が図れ、開発目標を達成した。なおSS回収率については、全て95%以上が得られた。

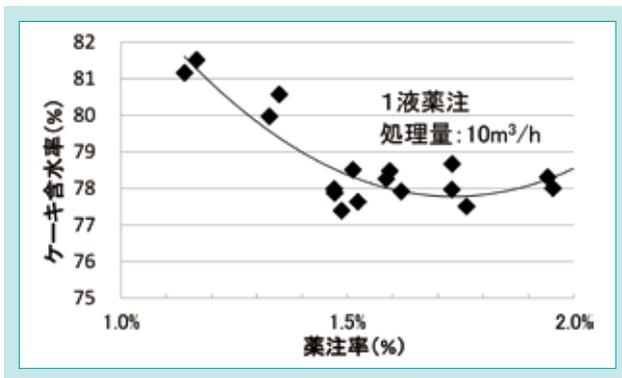


図8 薬注率変化試験結果(A 処理場)

Fig. 8 Result of Changes in Polymer Dosing Rate (A Treatment Plant)

2)B処理場

薬注率とケーキ含水率の関係を図9に示す。1液薬注では高分子凝集剤薬注率1.5%で81%程度のケーキ含水率が

得られた。一方、消費電力は現行機の1.7kWh/m³に対し0.85kWh/m³が得られ、50%の省エネ化が図れた。なおSS回収率は全て97%以上が得られた。

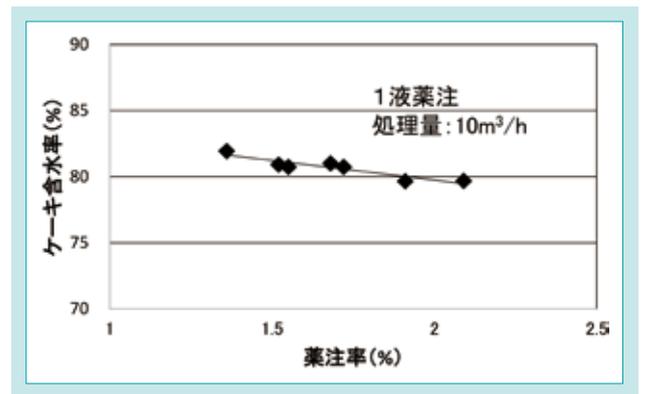


図9 薬注率変化試験結果(B 処理場)

Fig. 9 Results of Changes in Polymer Dosing Rate (B Treatment Plant)

3)C処理場

①薬注率変化試験

薬注率とケーキ含水率の関係を図10に示す。ケーキ含水率は薬注率0.5%で最も低下し、74%が得られ、既設現行機と同等であった。消費電力は、約0.90kWh/m³が得られ、既設現行機の1.35kWh/m³に対して約33%の省エネ化が図れた。

水・環境部門
3
省電力型直胴遠心脱水機の開発

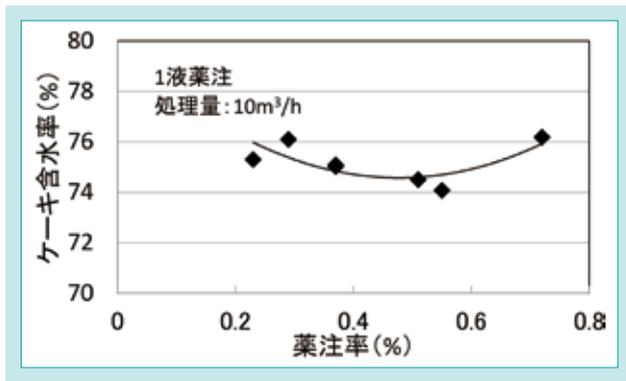


図 10 薬注率変化試験結果(C 処理場)

Fig. 10 Results of Changing Polymer Dosing Rate (C Treatment Plant)

②処理量試験

処理量とケーキ含水率、消費電力の関係を図11に示す。

10^{m³/h}から最大19.5^{m³/h}まで処理量を上げたが、ケーキ含水率は低下する傾向を示した。これは処理量を上げる過程で汚泥濃度が下がり、実質の薬注率が高まった為と考えられる。一方消費電力は10^{m³/h}で0.90kWh/^{m³}であったのに対し、処理量を上げ19.5^{m³/h}とすることで、0.64kWh/^{m³}と低い値が得られた。

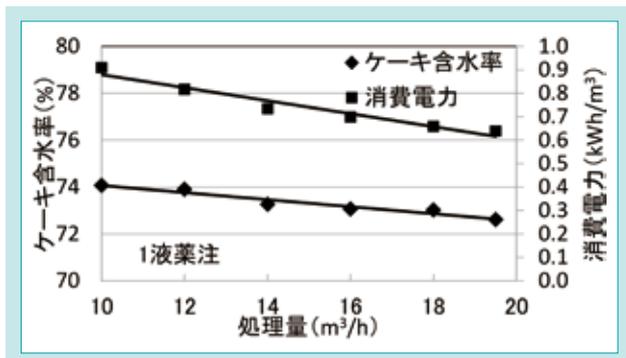


図 11 処理量試験結果(C 処理場)

Fig. 11 Results of Changing Throughput (C Treatment Plant)

③遠心効果試験

遠心効果とケーキ含水率、消費電力の関係を図12に示す。遠心効果を定格の2500G から1800G まで低下させたが、ケーキ含水率には大きな影響が見られなかった。一方、消費電力は2500G で0.90kWh/^{m³}であったのに対し、1800G では0.63kWh/^{m³}と非常に低い値が得られた。

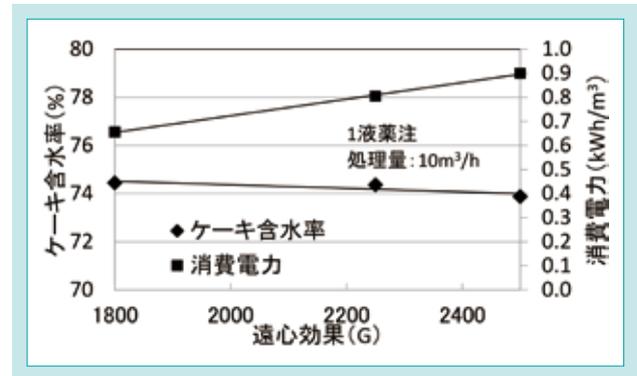


図 12 遠心効果試験結果(C 処理場)

Fig. 12 Result of Centrifugal Effect Test (C Treatment Plant)

以上より、処理量を上げる、もしくは遠心効果を下げること
で0.6~0.7kWh/^{m³}の大幅な省エネ運転が可能であることが
確認された。

6. おわりに

当社はこれまで、顧客ニーズや技術の変遷に応じた様々の下水汚泥脱水機を開発し、市場投入してきた。その結果、顧客から多様なニーズに応じた脱水機を持つ「総合脱水機メーカー」

として認知され、高い評価を得てきた。今後も将来を見据え、需要の変化に合う脱水機を開発していく所存である。

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 含水率低下により廃棄汚泥の削減に貢献

7.3 エネルギー効率の改善 上下水道インフラのエネルギー効率改善に貢献

参考文献

- 国土交通省報道発表資料 汚水処理施設を使える人口が着実に増加しています！～平成30年度末の汚水処理人口普及率をとりまとめ～
https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000422.html(参照日 2019-11-18)
- 国土交通省 下水道政策研究委員会 会議資料 第3回資料4-2 下水道における資源・エネルギー施策の現状分析
<http://www.mlit.go.jp/common/001022698.pdf>(参照日 2019-11-18)

脱水汚泥の非加熱改質による省エネルギー肥料化技術の開発

Development of Energy-saving Fertilizer Technology by Non-heat Reforming of Sewage Dewatered Sludge

水環境開発第三部／環境プラント技術部

今回新たに開発した下水汚泥の肥料化技術は、数百℃の熱源を用いる加熱乾燥方式とは異なる。脱水汚泥を常温下で汎用薬品により改質し、90℃以下の温度環境下で物理圧搾することにより、加熱乾燥並みの低含水率化を可能とした。脱水汚泥中の水の大半を液体のまま除去することから、水を蒸発させて除去する加熱乾燥と比較して省エネルギーなシステムであることが特長である。また、システムから発生する資源化物の肥料としての適用性を確認した結果、従来の汚泥由来の肥料と比較して作物の生育性、収量において優れた結果を得た。本システムの導入候補となる中小規模の下水処理場では、財政が逼迫する中で、設備の導入、更新において低ライフサイクルコスト(以下LCC)であることが求められている。本方式は、従来の汚泥資源化技術よりも低いLCCを達成しており、コスト競争力でも優位性を発揮することが可能である。

【キーワード】

下水汚泥、省エネ、肥料化

We have developed a new sludge fertilizer technology that can reduce the moisture content of sewage sludge to the same level as that obtained using conventional heat-drying technologies without requiring a high temperature heat source. The dewatered sludge is modified at room temperature with commonly used chemicals and physically compressed at temperatures below 90°C. Due to most of the water in the sludge being removed in liquid form, this technology is superior in terms of energy saving compared to heat-drying technology that evaporates water in the sludge. In addition, by applying this technology, the product can also be used as a fertilizer, and the growth and yield of the crop were higher compared to the case where conventional sludge fertilizer was used. Since small and medium-sized sewage treatment plants are facing severe financial difficulties, low life-cycle costs (LCC) are required at the time of the installation and replacement of facilities. This technology has a lower LCC than conventional sludge fertilizer technology due to the implementation of a new energy-efficient approach, which makes small and medium-sized sewage treatment plants cost competitive.

【Key Word】

Sewage Sludge, Energy Saving, Fertilizer

関連する SDGs



1. はじめに

国交省は、下水汚泥肥料化の普及を強く推進中であり、2015年の下水道法改正では汚泥の有効利用(肥料、燃料等)が努力義務化された。しかし、汚泥肥料化施設は全国38処理場への導入に留まっており、その主たる要因は「高い運営費」である。中小の処理場では、高額な処分費を投じて汚泥の最

終処分を埋立や民間産廃処分場に委託するケースが多く、事業運営上の大きな課題となっている。

今後、肥料化をはじめとする社会的な汚泥資源化ニーズ、並びに中小自治体の事業費削減ニーズに応えるためには、より低LCCな汚泥肥料化技術の開発が必要である。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

下水の生物処理プロセス後に廃棄される汚泥（微生物）を、機械脱水後に改質（微生物細胞膜を溶解）してから内包水までを絞り出し、含水率80%を30%にまで低減することを開発コンセプトとした（図1参照）。これにより、水を全て蒸発させる加熱乾燥と比較して、大幅な省エネ（低燃費）を実現できる。更に消化ガス発電の温排水など処理場で余っている低温廃熱を利用することで、省エネ性能を一層向上することができる。（3-1参照）

また、改質助剤（メタノール）の回収、再利用率を高めるために、汚泥を助剤の沸点（65℃）以上に加温するが、その熱源は90℃以下で済むことから、数百℃以上の熱源を利用する加熱乾燥と比較して、汚泥の発火リスクが低く、処理プロセス並びに最終生成物（以下、資源化汚泥）の臭気も低減できる。

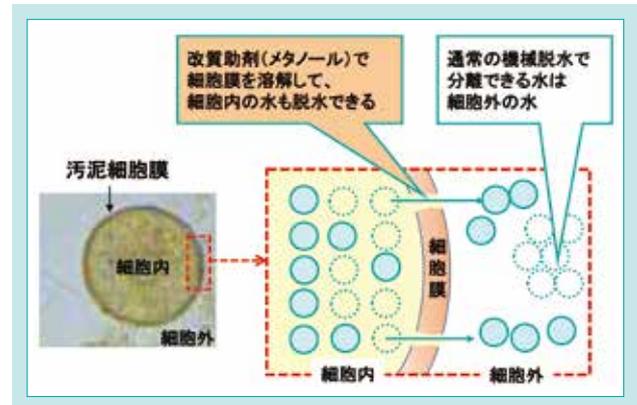


図1 開発コンセプトの概念図

Fig. 1 Schematic Diagram of Development Concept

2-2 開発目標値

開発目標値を表1に示す。資源化汚泥の肥料利用、加熱乾燥に対する低LCC実現の観点から、含水率、燃料消費量、改質助剤消費量の目標を設定した。

- ・含水率：直接肥料利用する場合のハンドリング性を考慮
- ・燃料消費量：対加熱乾燥比30%削減として設定
- ・改質助剤消費量：投入助剤量の1%以下として設定

表1 開発目標値
Table 1 Development Target

項目	目標性能
資源化汚泥の含水率	30%以下
燃料消費量	55L/t-cake以下(A重油換算)
改質助剤消費量	10kg/t-cake以下

3. 開発の内容

3-1 開発システムのフロー

開発システムのフローを図2に示す。投入汚泥（含水率80%）、改質助剤及びフィルタプレスでの剥離剤として消石灰をスラリー混合機で攪拌し、スラリー状の改質汚泥にする。改質汚泥は90℃温水でろ板を加温したフィルタプレスで圧搾、脱水され、含水率30%程度の資源化汚泥となり、

後段での要求に合わせ破碎まで行う。場内で未利用の低温廃熱があれば、ろ板の加温に利用することが可能である。改質助剤と排水の混合液は後段の蒸留塔で分離され、改質助剤は再利用、排水は流入下水に返送される。

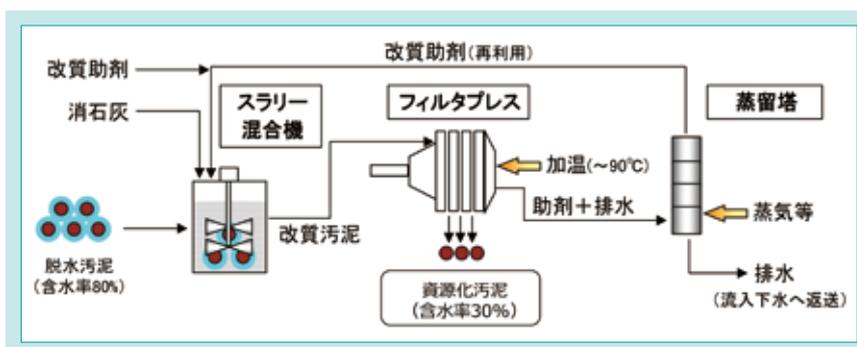


図2 開発システムのフロー
Fig. 2 Development System Flow

3 - 2 実証設備の概要

四季、気候に伴う汚泥の性状変化のシステムへの影響を調査するため、約1年間実際の下水処理場で実証試験を行った。表2に、実証先であるA処理場の概要を示す。脱水汚泥の種類は、含水率が80%程度の消化脱水汚泥で、脱水汚泥を2ヶ月間以上の貯留、攪拌により発酵させて汚泥発酵肥料を製造し、周辺地域で肥料利用されている。

表 2 実証試験先 A 処理場の概要

Table 2 Overview of Verification Test Site A Treatment Plant

項目	内容
水処理方式	標準活性汚泥法
汚泥処理方式	濃縮→消化→脱水→汚泥発酵肥料化
脱水汚泥の種類	消化脱水汚泥(含水率80%程度)

表3に実証設備の主要機器の仕様を示す。フィルタプレスは民需向け脱水機「ランフィル」をベースに、ろ板に温水を通水することで汚泥を加温できる仕様へブラッシュアップした。これは、水の粘性を下げ、ろ過速度を高めること、改質助剤の沸点(65°C)以上に加温し、汚泥中に僅かに残留する改質助剤を回収、再利用率を高める効果がある。

表 3 実証設備の主要機器

Table 3 Main Equipment of the Demonstration Facility

主要機器	機器仕様
スラリー混合機	縦型らせん羽根攪拌機
フィルタプレス	ろ布走行式(90°C温水加温)
蒸留塔	棚段型蒸留塔

4. 実験結果

4 - 1 システムの性能確認結果

4.1.1 脱水性能

改質助剤の添加率と、資源化汚泥の含水率との相関を調査した結果を図3に示す。これより、改質助剤添加率を増加させるに従い資源化汚泥の含水率を低減できることを確認し、この傾向は季節変動や投入汚泥含水率の変動にほとんど影響されなかった。目標含水率30%を満足する改質助剤添加率は85wt%/cakeであった。

資源化汚泥と乾燥汚泥^{※1)}について、臭気指数を分析比

較した結果を表4に示す。資源化汚泥は乾燥汚泥より臭気指数が低く、低臭気であることは汚泥肥料としての利用を促進する上での一助になるものである。

なお今回は肥料化としての適用を前提として資源化汚泥の目標含水率を30%としたが、改質助剤添加率を上げて、含水率を20%以下に低減することにより、火力発電所や焼却炉等で利用する補助燃料としての適用も期待できる。

※ 1) 投入汚泥を 110°Cの乾燥庫で含水率 30% にまで低減した汚泥

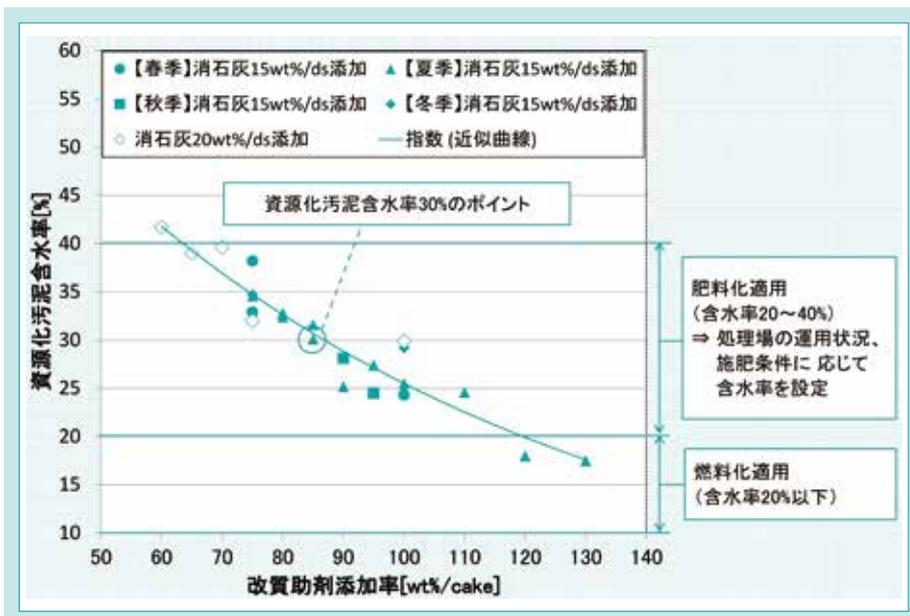


図 3 脱水性能試験結果

Fig. 3 Dehydration Performance Test Results

表 4 資源化汚泥と乾燥汚泥の臭気指数

Table 4 Odor Index of Recycled Sludge and Dried Sludge

項目	単位	臭気指数
資源化汚泥	[-]	35
乾燥汚泥	[-]	50

4.1.2 改質助剤回収性能

本システムにおける改質助剤の収支の一例を図4に示す。システムに投入した改質助剤は、絞り出した汚泥由来のろ液とともに加温フィルタプレス以降の溶媒回収部(ろ液貯留槽、凝縮器、バブリングタンク)で捕捉され、蒸留塔において改質助剤と排水に分離される。

本結果より、改質助剤の回収率は99%以上、改質助剤の消費量(補充助剤量)は、投入汚泥量当たり7.5kg/t-cake(=0.6kg÷80kg×1000kg/t)であり、目標とする10kg/t-cake以下を満足した。

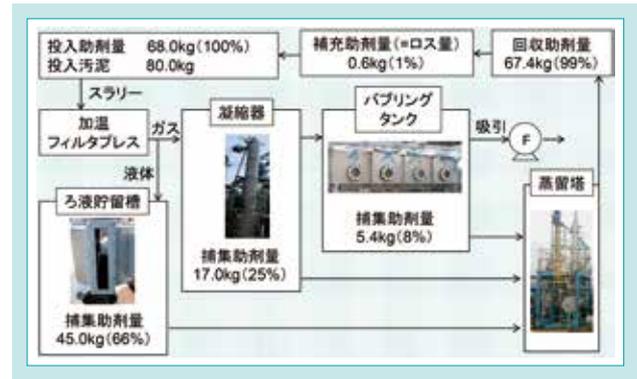


図4 改質助剤回収性能

Fig. 4 Recovery Performance of Modification Aid

4.1.3 省エネ性能

本システムと加熱乾燥の省エネ性能を比較するため、投入汚泥含水率の変動に対する燃費への影響を調査した結果を図5に示す。脱水機構を基本とする本システムの燃費は、投入含水率の影響をほとんど受けずほぼ一定で、目標とした加熱乾燥比30%削減を概ね満足した。一方、加熱乾燥では汚泥含水率が高まるにつれて燃費が増加する。これは、加熱乾燥が汚泥中の水分を蒸発させて除去するメカニズムのため、投入汚泥の含水率が増加するにつれて蒸発潜熱分の熱が多く必要になるためである。

このように、本システムは入口含水率の影響をほとんど受けない、つまり前段での脱水状況によらず、安定した省エネ性能を発揮できるシステムである。

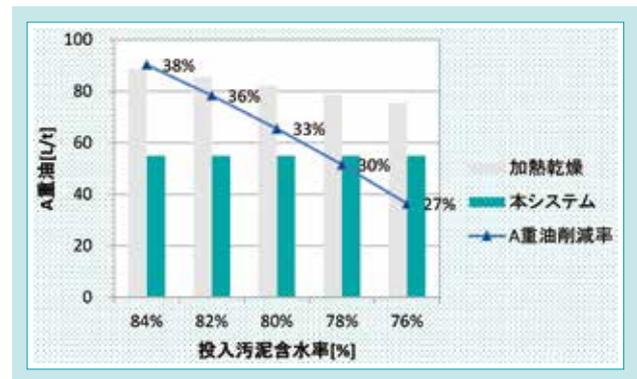


図5 省エネ性能

Fig. 5 Energy-saving Performance

4-2 資源化汚泥の肥料適用性確認結果

4.2.1 発酵試験

下水汚泥を肥料として利用する場合、低含水率化のみを行い、直接肥料として利用する方法(汚泥肥料)と、更に発酵プロセスを経て、より質の高い肥料として利用する方法(汚泥発酵肥料)があり、利用者に応じた選択が必要となる。発酵プロセスでは空気を供給して好気発酵を行うが、発酵前含水率が80%程度と高く、多量の水分を蒸発させるため、完了までに2~3ヶ月を要する。そのため、設備が過大であること、

また、発酵時の通気性改善のため、もみ殻等の副資材が必要であることが課題であった。一方、本システムでは副資材なしに、脱水汚泥(含水率80%)と資源化汚泥(含水率30%)を混合して初期含水率を50%程度に調整し、余分な水分を排除しておくことで、1ヶ月以下で発酵プロセスを完了することができた(図6)。以上から、本システムを活用した汚泥発酵肥料化は、従来法が抱える課題の解決に応えた技術である。

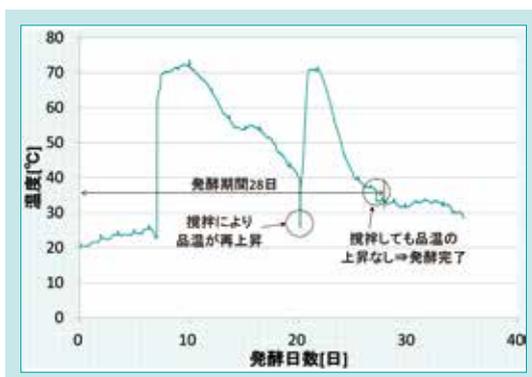


図6 発酵時の品温トレンドおよび発酵試験風景

Fig. 6 Product Temperature Trend During Fermentation and Test Scenario



4.2.2 肥効性確認試験

資源化汚泥及びA処理場の既製品(汚泥発酵肥料)に含まれる肥効、有害成分を分析した結果を表5に示す。

これより、本システムからの資源化汚泥は既製品と比較して、肥効成分含有量はほぼ同等であって、特に汚泥肥料については発酵によるアンモニア揮散がないため、窒素分が高く保持されている。更に資源化汚泥ではフィルタプレスの剥離剤として加えたカルシウムが含まれており、肥効成分に加えて、酸性土壌を中和する土壌改良材がプレミックスされた肥料といえる。

また鉛等の重金属類の含有量も既製品とほぼ同等で、いずれも肥料取締法の基準値(鉛:100mg/kg-dry、ヒ素:50mg/kg-dry、カドミウム:5mg/kg-dry)以下であった。

4.2.3 施肥試験

資源化汚泥を肥料とした施肥試験を行った。栽培作物をそばとし、栽培面積あたりの施肥量を1kg-肥料/m²-栽培面積とした(表6)¹⁾。その結果を図7に示す。資源化汚泥では、比較対象用に施肥した既製品と比較して、同等以上のそばのみの収量を得た。これは、資源化汚泥でもみ殻等の嵩比重の低い副資材を用いておらず、比重が高い汚泥のみであることから、施肥後の飛散が少なく、土壌への沈着率が高かったことによる効果と考えられる。

以上より、資源化汚泥は汚泥肥料又は、汚泥発酵肥料として適用できることを確認した。

表 6 施肥試験条件

Table 6 Fertilization Test Conditions

項目	数値
施肥面積	140m ² (4m×35m)×3条件
施肥量	140kg×3条件



表 5 資源化汚泥の肥効成分、有害成分

Table 5 Fertilizer and Harmful Components of Recycled Sludge

項目	単位	資源化汚泥 (汚泥肥料)	資源化汚泥 (発酵肥料)	既製品 (発酵肥料)
窒素	%-dry	5.21	3.68	2.82
リン酸	%-dry	3.99	3.23	3.59
カリウム	%-dry	0.20	0.38	0.50
カルシウム	%-dry	7.99	14.20	1.42
鉛	mg/kg-dry	16	19	15
ヒ素	mg/kg-dry	1.8	2.8	1.6
カドミウム	mg/kg-dry	<1	1	<1
嵩比重	-	0.6	0.6	0.2

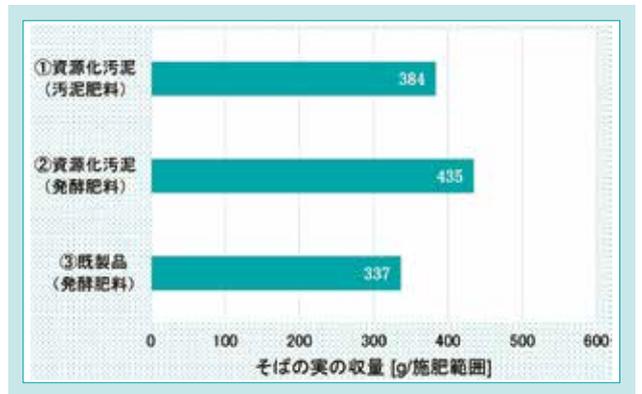


図 7 施肥試験時のそばのみの収量比較

Fig. 7 Comparison of Yield of Buckwheat During Fertilization Test

4-3 システムの LCC 評価

4.3.1 LCC試算条件

本システムを導入した場合のLCCの試算を行った。

LCC評価するフローを図8に、試算条件を表7に示す。

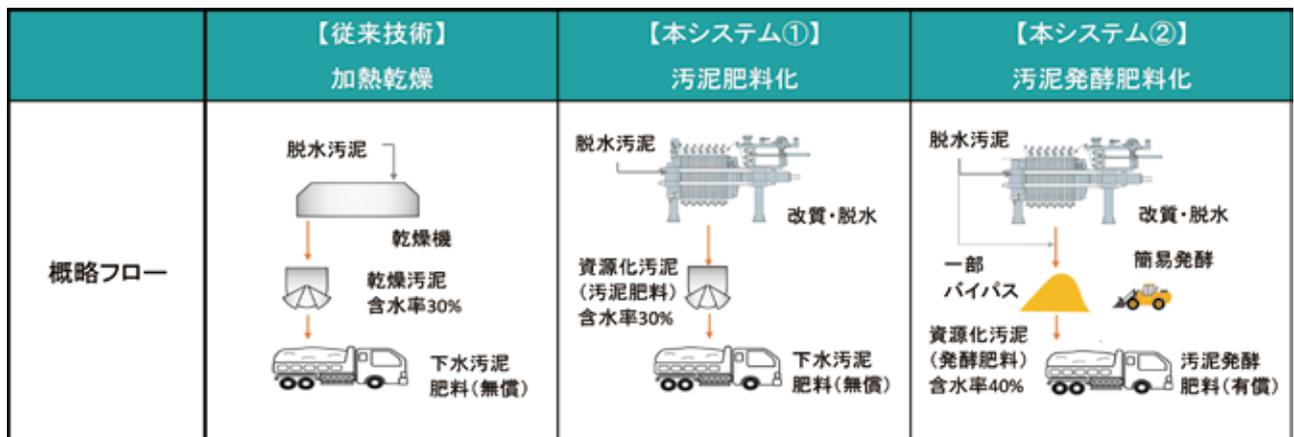


図 8 LCC 評価フロー

Fig. 8 LCC Evaluation Flow

表 7 LCC 試算条件
Table 7 LCC Calculation Conditions

項目	試算条件
検討ケース	【従来技術】加熱乾燥、【本システム①】汚泥肥料化、【本システム②】汚泥発酵肥料化
施設規模Xd、年間運転日数	10t/日(24h/日)、340日/年
投入汚泥含水率	・混合生汚泥(消化プロセスを経ない汚泥):76%、78% ・消化汚泥80%、82%、84%
耐用年数	・機械、電気:20年 ²⁾ ・土木、建築:45年 ²⁾
運転人員	従来技術 ³⁾ :1.918Xd ^{0.324} 、本システム①②:1名(夜間は中央監視員が兼務)
生成物の肥料化方法	従来技術、本システム①:汚泥肥料化(無償配布)、本システム②:汚泥発酵肥料化(有償販売)

4.3.2 LCC試算結果

LCC試算結果を図9に示す。本システムは到達含水率が低いにも関わらず低燃費であることが特長である。また、高温加熱に伴う対策が不要なため、運転管理が容易で自動化、省人化運転が可能となる。そのため燃料費や運転人件費といった維持管理費が低く、低LCCであった。

投入汚泥含水率に対するLCC削減率(対加熱乾燥)を図10に示す。加熱乾燥と比較して①汚泥肥料化で24%以上、②汚泥発酵肥料化で33%以上のLCC削減効果を得ることができ、この効果は加熱乾燥が燃費で不利になる投入汚泥含水率が高い領域でより高かった。

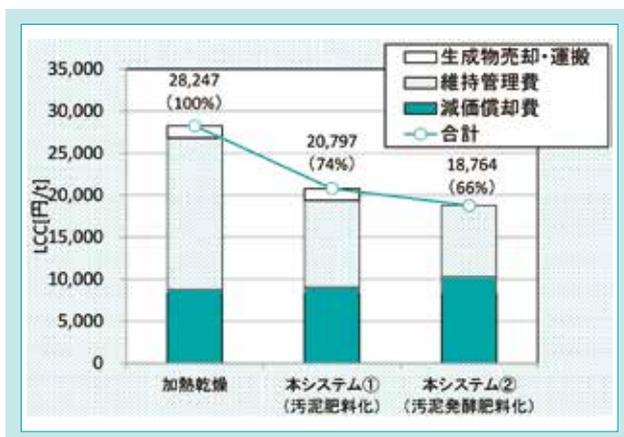


図 9 LCC 試算結果 (投入汚泥含水率 80% 時)
Fig. 9 LCC Calculation Results
When the Input Sludge Moisture Content is 80%

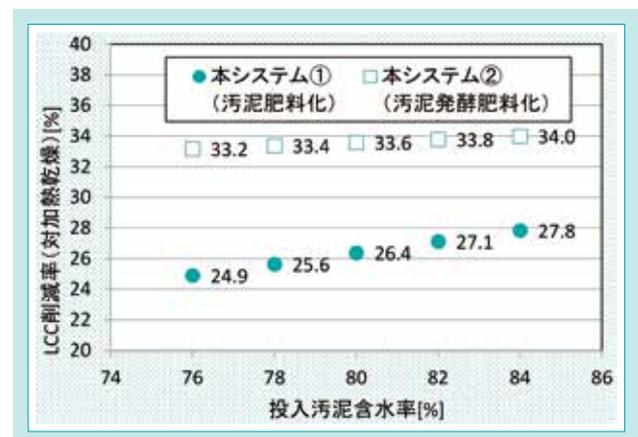


図 10 投入汚泥含水率に対する LCC 削減率
Fig. 10 LCC Reduction Rate Relative to Input
Sludge Moisture Content

5. おわりに

本稿では下水処理場で発生する脱水汚泥を非加熱で改質し、加熱乾燥並みの低含水率化を省エネルギーで達成する肥料化技術について紹介した。LCCにおいても加熱乾燥と比較して低LCCを達成しており、肥料化施設の既設更新への適用

が可能である。また、汚泥の最終処理設備を持たず、高額な外部委託費を支払っている処理場への新規導入にも適用可能であり、本システムが下水処理事業におけるLCC低減の一助になるものと考えられる。

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強化 低LCCであることにより汚泥の最終処理設備の導入促進

9.4 環境に配慮した技術の導入による産業改善 低含水率化を省エネルギーで達成する肥料化技術により産業改善に貢献

12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 生成する資源化汚泥が有効利用可能

参考文献

- 1) 下水汚泥有効利用促進マニュアル、(2015)、pp.90、日本下水道協会
- 2) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン改訂版、(2015)、pp.57-58、国交省
- 3) 下水汚泥広域利活用マニュアル資料編、(2019)、pp.41、国交省

液中膜SPの産業排水への適用

Application of Submerged Membrane SP to Industrial Wastewater

膜システム部

液中膜SPは2011年に下水市場向けに上市して以降、北米、欧州、中東、日本等の下水処理分野で約50件の納入実績がある。クボタでは、2017年、日本の中大規模産業排水分野での拡販を目的に国内大手食品会社工場にて液中膜SPを用いた実証実験を行い、施設設計諸元及び膜のメンテナンス性等を確認する活動を実施した。その後、同工場への産業排水向け1号機を納入することができた。本稿では液中膜SPの産業排水適用に向けた活動について報告する。

【キーワード】

膜分離活性汚泥法、液中膜[®]、産業排水

Since its launch in 2011, SP models of the Submerged Membrane Unit have been installed in approximately 50 projects in the sewage treatment industry in North America, Europe, the Middle East, Japan and other countries. In 2017, Kubota conducted a pilot test using SP models at one of the major food processing companies in Japan in order to promote these models to the mid- and large-scale industrial wastewater market. During the test, design parameters and maintenance requirements were confirmed. The pilot test was successful and the food processing company became the first ever customer in the industrial wastewater market to adopt SP models. In this report, the efforts and activities involved in optimizing SP models for the industrial wastewater market are described.

【Key Word】

Membrane Bio Reactor (MBR), KUBOTA Submerged Membrane Unit[®], Industrial Wastewater

関連する SDGs



1. はじめに

膜分離活性汚泥法(以下MBR)は、活性汚泥の働きを利用した生物処理と膜による固液分離処理を組合せた排水処理技術で、省スペースかつ清澄な処理水を得られることが特徴である。

クボタの国内産業排水分野での実績は、ここ数年横ばい傾向であり、これまでは排水量300 m³/日以下の小規模案件を中心に従来型の液中膜(510、515)を納入してきた。今後、事業規模の拡大を図るためには、中大規模案件の獲得が必要であり、そのためには下水処理で実績のある省エネルギー性及びメンテナンス性に優れた液中膜SPを新たに提案していく必要がある。

液中膜SPは膜ブロックと散気ブロックで構成され、膜ブロックには膜モジュールが搭載されている(図1)。膜ブロックは膜モ

ジュールを縦横方向に積み重ねたシンプルな構造を持ち、従来型の液中膜515での排水処理設備と比較すると、膜ブロウ動力を15%、従来からの薬液洗浄の容易性に加えて膜の点検時の分解組立て時間を50%低減できる特徴がある。



図1 液中膜 SP600

Fig. 1 Submerged Membrane Unit SP600

2. 液中膜 SP の産業排水への適用性

2-1 適用性の確認項目

当初、下水市場向けに上市した液中膜SPを、産業排水へ適用するために確認した項目を以下に示す。

①排水種に応じた施設設計諸元

産業排水は、食品、飲料、化学等の排水種やそれぞれの生產品目によって排水性状が異なることから、それらに応じた活性汚泥濃度(MLSS)、ろ過量(フラックス)、膜

ばっ気量等の施設設計諸元を確認する必要があった。

②膜のメンテナンス方法

産業排水では、膜が詰まったり破損したりして排水を処理できない状況が発生すると、工場の操業に悪影響を与えることがあるため、事前に膜のメンテナンス方法を確認する必要があった。

2-2 実証実験による適用性評価

食品会社工場の排水処理設備に小型実験装置(膜面積40 m²)を設置し、既設の活性汚泥を対象に膜ろ過運転を実施した。実証実験では、定格の膜ばっ気量においてフラックスを変更しながら約7か月間運転した。その結果、評価期間(約2.5か月)において膜間差圧が急上昇することなく安定して運転できることを確認した(図2)。また、短期間ではあるが樹脂部品等の劣化など装置上も問題ないことを確認できた。

これらの運転データから、液中膜SPの本食品工場向けの施設設計諸元を確認することができた。

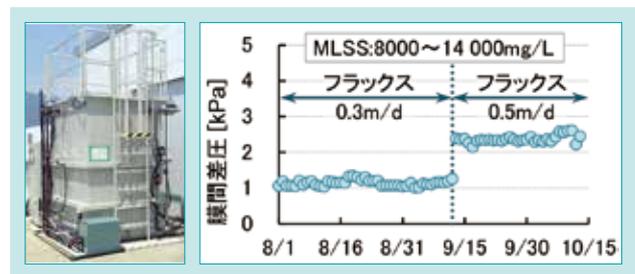


図2 実験装置および膜間差圧の経日変化

Fig. 2 Experimental Equipment and Time vs Trans Membrane Pressure

2-3 メンテナンス性の確認

実験中には、薬液洗浄による膜間差圧の回復効果を確認し、実験終了時には、現地で膜モジュールの破損の有無を検出する方法、膜モジュールの汚泥による閉塞が生じた場合の解消方法、消耗部品の交換方法を確認するなどして、現地で対応可能なメンテナンス項目とその手順を確認することができた。

また、国内では、液中膜を長期間安定して運転でき、トラブルを未然に防止できるように、クボタメンブレン(株)によるアフターサービス事業を展開している。液中膜SPIについても、実験によって確認した点検項目と手順に、点検頻度、緊急時対応方法などを織り込んで、従来型と同様のアフターサービスメニューを構築することができた。

3. おわりに

本実証実験とその後の技術提案活動により、2019年8月に同食品会社工場の排水処理設備増強(排水量増加、維持管理の容易化)計画に産業排水向け1号機として液中膜SP600を納入することができた(図3)。

今後は、大規模案件が見込める食肉加工、化学等の排水種にも必要に応じて実験を行うことを通じて、液中膜SPの適用排水種を増加させることで、さらなる液中膜の拡販を目指すとともに、世界の水資源の維持に貢献する所存である。



図3 納入した排水処理設備(規模2500 m³/日)

Fig. 3 Delivered Wastewater Treatment Equipment (Scale: 2500 m³/d)

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 6500か所以上の排水処理に携わり、水質保全に貢献

7.3 エネルギー効率の改善 消費電力量の低減に貢献

樹脂製フランジの研究

Development of All-plastic Flange

(株)クボタケミックス 開発部

日本の工場の多くは高度成長期に建設され、約50年経過している。また、沿岸地域にも多く建設されているため、使用管材の多くを占める鋼管は、腐食・漏水が懸念されている。クボタケミックス(以下「KC」という)では、工場内配管材の樹脂化を目指し、この市場の開拓を進めている。顧客が配管部材に要求する性能として、発注者からの耐食性と工事業者からの施工性がある。本稿では、金属部品の樹脂化により耐食性・施工性を向上させるとともに、形状の工夫により強度確保・更なる施工性向上を図った樹脂フランジについて報告する。

【キーワード】

圧力管路、フランジ、繊維強化樹脂、腐食

Almost 50 years have passed since many factories were built during Japan's high growth period. Now there are concerns that corrosion is affecting the metal pipes used in those factories due to the fact that the factories were built in coastal areas and a long time has elapsed since their construction.

Kubota ChemiX is entering the factory pipeline market with its polyethylene pipes and fittings that are easier to install and have anti-corrosion properties. However, the currently used flange has metal components that make it vulnerable to corrosion. This report describes the development process for an all-plastic flange which is easier to install and is corrosion resistant.

【Key Word】

Pressured Pipeline, Flange, Fiber-reinforced Resin, Corrosion

関連する SDGs



1. はじめに

日本の工場の多くは高度成長期に建設され、既に約50年を経過している。また、工場の多くは沿岸地域に建設されており、使用管材の多くを占める鋼管は、腐食・漏水が懸念されてきた。KCでは、冷却水配管、海水取水管、排気配管等、工場内配管材の樹脂化を目指し、この市場の開拓を進めている。

こうした中、2015年に消火用屋外給水配管に対する省令改正(総務省)が行われ、埋設消火管への樹脂管使用が可能となった。この改正を受け、消火管の腐食・漏水で困っていた顧客が樹脂管の検討を始め、一部の自治体では埋設消火管に

ポリエチレン管を推奨する動きも見せている。

しかし、ポリエチレンの管路システムにおいて、異種管やバルブなどの接合に使用するフランジは、金属製のため、耐食性や施工性が課題となっていた。

本稿では、その課題解決のため、金属製部品であるルーズフランジ(以下「LF」という)を樹脂化して、耐食性と施工性向上を目指した開発状況を報告する。また樹脂化で懸念される強度低下に対し、工夫した形状による性能確保と更なる施工性向上の状況も報告する。

2. 技術の説明

2-1 開発のコンセプト

開発コンセプトを図1に示す。フランジは、ポリエチレン製のフランジアダプタ(以下「FA」という)と、金属製のLFで構成されている。

まずは、耐食性及び軽量化による施工性向上を図るため、LFを樹脂化する。これによりフランジは全て樹脂製になるが、樹脂化による強度低下に伴い、漏水等の性能低下が懸念される。

そこで、形状を工夫することで性能を確保し、それに加えて施工性向上(芯ズレ解消)も図る。

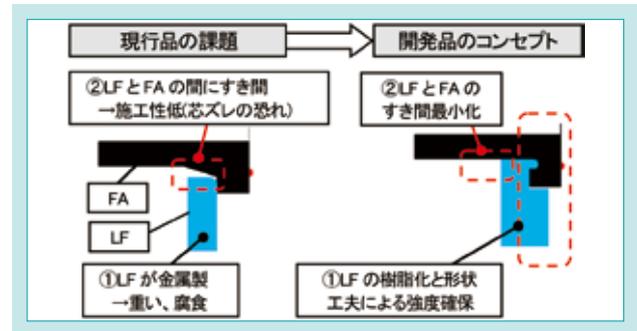


図1 開発コンセプト

Fig. 1 Development Concept

2-2 これまでの開発内容

形状を確定する際、フランジ部の性能として曲げ時の漏水性を選定し、解析と実機で検証した(図2)。

まず、図3のとおり解析を活用して、現行品と比べ、漏水しにくい開発品形状を探索した。更に、LFの物性を繊維強化樹脂とした場合でも、要求性能を満足することを確認した。

次に、図4のとおり実機にて、現行品と解析の結果確定した開発品形状を比較し、性能向上を確認した(LFは金属製)。今後は、実際に繊維強化樹脂にて成形したLFを使用して、性能を確認する。

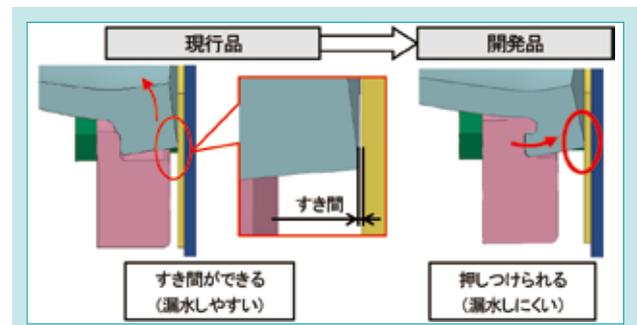


図3 漏水性の解析結果(図2のA部)

Fig. 3 Analysis Results of Bending Water Pressure Test

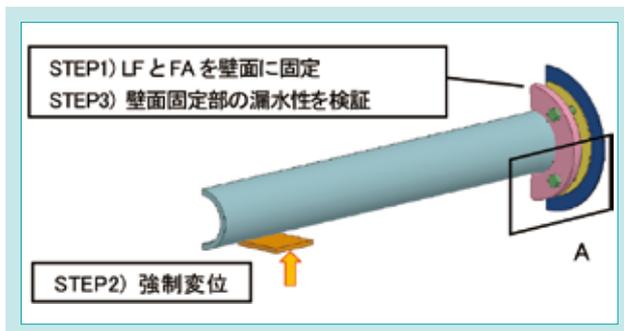


図2 漏水性の曲げ条件

Fig. 2 Conditions for Bending Water Pressure Test

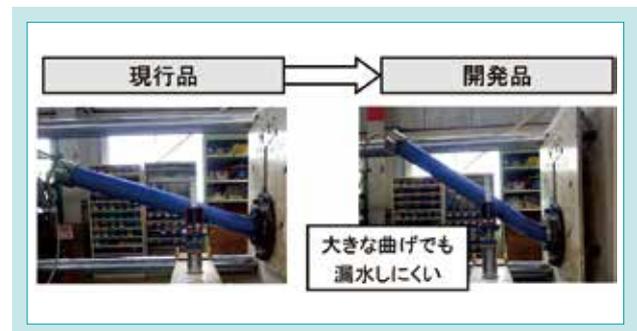


図4 漏水性の実機結果

Fig. 4 Experimental Results of Bending Water Pressure Test

3. おわりに

KCIは合成樹脂管材における国内トップメーカーであり、特にインフラ分野でその強みを発揮してきたが、その市場は人口減による需要減少が不可避である。このような状況に対し、継続した成長を目指して、新市場への参入を模索してきた。

今回取上げたプラント市場は、樹脂管の利点が生かせるだ

けでなく、2015年の省令改正による追い風が吹いている。また、プラント内の他用途配管(冷却水、海水取水、エア用等)を含めると更に可能性が広がる魅力的な市場である。

今後も配管部材の樹脂化を推進することで、より高品質なパイプラインを提供する。

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 ルーズフランジの樹脂化により、軽量の施工しやすい配管を可能に

9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 漏水しにくい強靱なパイプラインの実現に貢献

クラウド型管路管理システム【WATERS-Cloud】

Cloud-type Pipeline Management System [WATERS-Cloud]

1. はじめに

株式会社管総研では水道事業体向けに管路管理システムを開発販売してきた。従来のシステムは事務所のパソコンで使用するシステムであるが、今回、開発したクラウド型管路管理システムは現場のタブレットやスマートフォンで水道管路図面を参照するシステムである。

本システムは漏水修繕、工事、災害復旧等の現場で使用するシステムである。図1にシステム概要を示す。



図1 システム概要
Fig. 1 System Overview

2. 製品の概要

(1)水道管路図面表示機能

GoogleMap、都市計画図、航空写真上に水道管路が表示される。

(2)工事竣工図表示

工事竣工図が表示されるので、図面を印刷して現場に持参する必要がない。

(3)ストリートビュー表示

ストリートビュー上に弁栓が表示される。

(4)GPS位置表示機能

タブレットの位置が地図上に表示されるため、事故対応や給水タンク車の位置を表示することができる。

(5)現場情報共有機能

現場で撮影した漏水写真を事務所で参照し、ベテラン職員の指示を受けることができる。

図2にシステム機能を示す。



図2 システム機能
Fig. 2 Function of System

3. おわりに

本システムは水道の現場において、様々な業務に使用することが期待されている。

今後もKSIS連携機能、断水業務支援機能等を追加し、機能向上を継続する。

問合せ先: 〒661-8567

住所 尼崎市浜一丁目1番1号

会社名 株式会社管総研 技術部

TEL 06-6470-6305

AIが人の代わりにデータを分析して異常運転を検知 「マンホールポンプAI異常運転検知機能」

Manhole Pump AI Abnormal Operation Detection System

1. はじめに

マンホールポンプ(図1)とは、家庭から排出される生活污水を下水処理場へ送る設備であり、500力所以上を有する自治体もある。運転データの利活用による予防保全が望まれるが、人手不足の背景から、全てのデータを日常的に確認することは困難である。そのため、異常状態に気付かず故障に至り、突発的な対応を余儀なくされている。

このたび、クラウド監視システムに新たに人工知能(以下AI)を導入した。AIが人に代わって運転データを分析することで、異常状態の早期通知が可能となる。これにより、設備が緊急停止する前に対策を打つことができ、効率的な維持管理が可能になる。



図1 マンホールポンプユニット(左)と水中ポンプ(右)
Fig. 1 Manhole Pump Unit and Submersible Pump

2. 製品の概要

AIが人の代わりに水位とポンプ電流値のデータを監視し、マンホールポンプごとに通常運転の範囲を自動設定する。通常時と異なる運転をしていた場合には、1日に1回、監視画面上に通知する。人が入念に確認しないと判別できないような運転データの変化を検知可能である。また、異常の推定原因も表示されるため、携行する道具の選定や、分解確認箇所の順番といった、メンテナンス作業の段取りを効率化できる(図2)。

既にクボタ製通報装置「MU-1000」シリーズで水位と電流値をデータ取得していれば、新たに機器を追加する必要はなく、AI異常運転検知機能を利用できる。

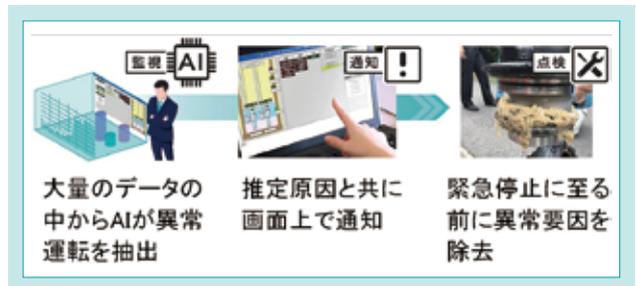


図2 AI異常運転検知機能を用いた維持管理の流れ
Fig. 2 Maintenance Flow with AI Support System

3. おわりに

AI異常運転検知機能は、クボタIoTソリューションシステムであるKSIS(Kubota Smart Infrastructure System)の一部であり、設備の修繕・更新履歴や点検結果などの様々な情報を一元管理できる「クラウド機台帳機能」と合わせた「マンホールポンプAIサポートシステム」としてパッケージでサービスを提供する。

今後も、業務効率化やトラブル未然防止を図ることで、快適な市民生活を支えていく所存である。



問合せ先: 〒104-8307

住所 東京都中央区京橋2丁目1番3号

会社名 株式会社クボタ 環境プラント営業部

TEL 03-3245-3337

●
—クボタ技報—

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.53

●編集委員●

農業ソリューション技術部	松下 肇
農業ソリューション事業推進部	中村 幸浩
パイプインフラ生産管理部	肝付 兼士
膜システム部	大井 裕亮
素形材・鋼管管理部	小谷 正典

●事務局●

研究開発統括部	倉持 克史
	五十嵐慶介

●
2020年1月印刷

2020年1月発行

(執筆者の所属は2019年12月現在)

————— 禁無断転載 —————

(非売品)

発行所 株式会社クボタ

研究開発統括部

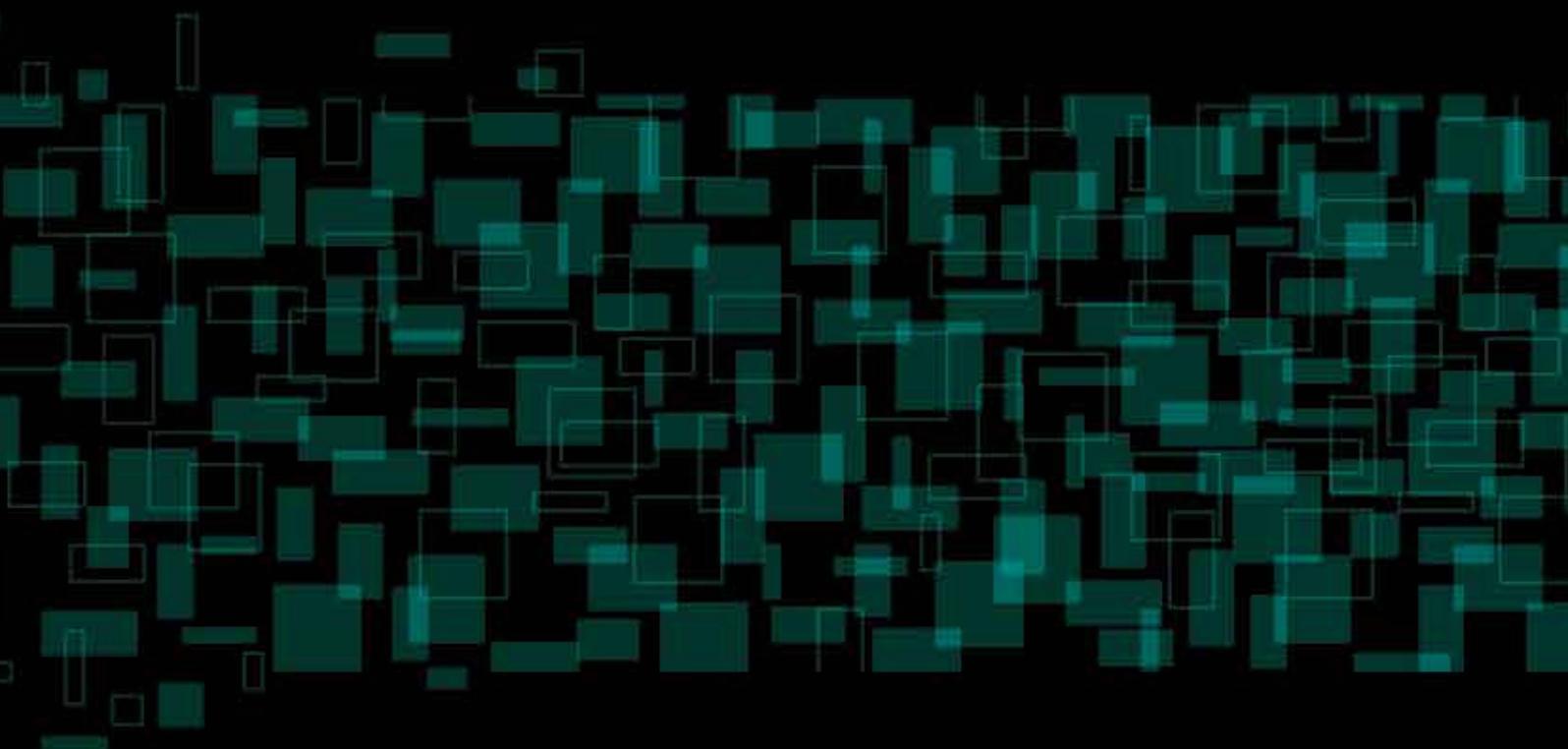
〒556-8601 大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号

TEL (06) 6648-2499 (ダイヤルイン)

FAX (06) 6648-2503

印刷 クボタエイトサービス株式会社





株式会社**クボタ**

www.kubota.co.jp