

For Earth, For Life
Kubota

KUBOTA TECHNICAL REPORT

クボタ技報 **56**
JANUARY 2024

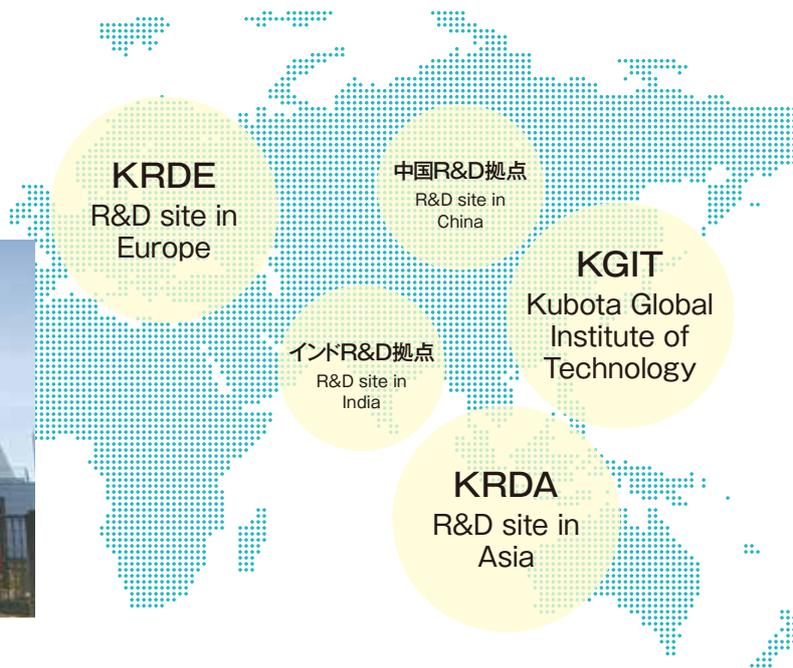
ISSN 0916-8249

グローバル研究開発6極体制

R&D System Based Around Six Global Sites

欧州R&D拠点

KRDE established in 2021
Kubota R&D Europe S.A.S.



事業のグローバル化にともない、世界のお客様のニーズに応えるだけでなく、各地の社会課題の解決に資する製品・サービス・ソリューションを提供することの重要性が増しています。現地ならではの多様な課題に応えるべく、国内・海外それぞれの研究開発拠点の役割を明確にして、グローバルな研究開発体制の拡充を推進しています。

アジアR&D拠点

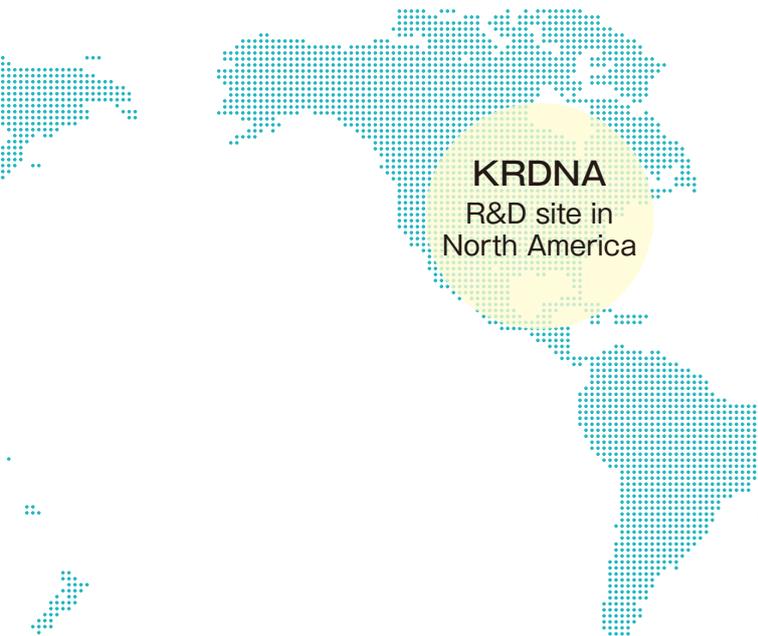
KRDA established in 2016
Kubota R&D Asia Co., Ltd.



グローバル技術研究所 (KGIT) 2022年開設

Kubota Global Institute of Technology
established in 2022





北米R&D拠点

KRDNA established in 2022
Kubota R&D North America Corporation



As the globalization of business, it is becoming increasingly important to offer products, services, and solutions that not only satisfy the needs of customers throughout the world, but also contribute to solving social issues in every community. To respond to diverse and unique local issues, Kubota is improving its global R&D system by clarifying the roles of its R&D sites in Japan and overseas.



クボタ技報

No.56 2024年1月

目次

巻頭言

“命を支えるプラットフォーム”を実現する研究開発	6
--------------------------	---

機械部門

欧州市場向けコンパクト電動トラクタ LXe-261 の開発	8
国内向け直進アシスト機能付きレクシアトラクタの開発	14
欧州市場向け電動ゼロターンモア Ze シリーズの開発	20
自脱型7条刈コンバイン DR7130 の開発	26
自動運転機能付き田植機 NW8SA の開発	32
電子制御小型ディーゼルエンジン D902-K の開発	38
3 t ミニバックホー U-30/35-6 α シリーズの油圧システム開発	44
国内向け SL シリーズトラクタ用畑作ロータリ開発	50
散布ドローン及び K-iDrone (Kubota IoT Intelligence Drone) の開発	56
TIM リアトップリンケージと TIM スプレッドインプルメントの開発	62
コーン向け部分施肥技術 PUDAMA の開発	68

水・環境部門

水道管路状態監視用機器「ウォーターパイプコム」の開発	74
MBR 用ロータリーパネルフィルターの開発	80
産業排水処理向け凝集センサの開発	86
樹脂製フランジの開発	92

紹介記事

KRDNA (Kubota Research & Development North America) の紹介	94
大規模 MBR の稼働事例紹介 (大阪市中浜下水処理場)	96
し尿処理における ASB システムとその効果の紹介	100

新製品紹介

浸水被害発生時における迅速な復旧活動をサポート「排水ポンプ車用超軽量排水ポンプ」	102
--	-----

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.56 JANUARY 2024

CONTENTS

Prefatory Note

R&D to become an “Essentials Innovator for Supporting Life”	6
--	---

Farm & Industrial Machinery

Development of Compact Electric Tractor LXe-261 for the European Market	8
Development of REXIA Series Tractor for Domestic Market with “Go-Straight Function”	14
Development of Electric Zero-Turn Mower Ze series for the European Market	20
Development of 7-rows Head-feeding Combine Harvester DR7130	26
Development of Autonomous Driving Rice Transplanter NW8SA	32
Development of the Electrically Controlled Small Diesel Engine D902-K	38
Development of Hydraulic System for 3-Ton Class Mini Excavator “U-30/35-6 α Series”	44
Development of Rotary for Upland Farming with SL Series Tractor for the Domestic Market	50
Development of Drone Sprayer and Kubota IoT Intelligence Drone (K-iDrone)	56
Development of TIM Rear Top Linkage and TIM Spreader	62
Development of PUDAMA - A Spot Fertilizing System for Maize Seeders	68

Water & Environment

Development of “WATER PIPE COM” , Equipment for Monitoring in Water Pipe	74
Development of Rotating Panel Filter for Membrane Bio-Reactor	80
Development of Flocculation Sensor for Industrial Wastewater Treatment	86
Development of All-plastic Flange	92

Introduction Article

Introduction of Kubota Research & Development North America (KRDNA)	94
Introduction of Large-Scale MBR Operation Case at Nakahama Sewage Treatment Plant, Osaka City	96
Introduction of ASB System and Its Effects on Night Soil Treatment	100

New Products

Ultralight Drainage Pump for Drainage Pump Vehicle	102
--	-----

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(エスディーゴーズ)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(農業)	水・環境			
■		欧州市場向けコンパクト電動トラクタLXe-261の開発		
■		国内向け直進アシスト機能付きレクシアトラクタの開発		
■		欧州市場向け電動ゼロターンモアZeシリーズの開発		
■		自脱型7条刈コンバインDR7130の開発		
■		自動運転機能付き田植機NW8SAの開発		
■	■	電子制御小型ディーゼルエンジンD902-Kの開発		
	■	3tミニバックホー U-30/35-6α シリーズの油圧システム開発		
■		国内向けSLシリーズトラクタ用畑作ロータリの開発		
■		Development of Drone Sprayer and Kubota IoT Intelligence Drone (K-iDrone)		
■		Development of TIM Rear Top Linkage and TIM Spreader		
■		Development of PUDAMA - A Spot Fertilizing System for Maize Seeders		
	■	水道管路状態監視用機器「ウォーターパイプコム」の開発		
	■	MBR用ロータリーパネルフィルターの開発		
	■	産業排水処理向け凝集センサの開発		
	■	樹脂製フランジの開発		
■	■	Introduction of Kubota Research & Development North America (KRDNA)		
	■	大規模MBRの稼働事例紹介(大阪市中浜下水処理場)		
	■	し尿処理におけるASBシステムとその効果の紹介		

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
							★		★							●	●
		★						★	★							●	●
							★		★				★			●	●
		★						★	★							●	●
		★						★	●							●	●
							★		★		●					●	●
							★	●	★		★		●			●	●
		★					●	★								●	●
	●		★					★	★			●				●	●
		★				●		●	★			★	●	●		●	●
	●	★						●				★				●	●
						★			★		●					●	●
						★										●	●
			★			★								★		●	●
						●		★	★		●					●	●
						●	★	★			●					●	★
			●			★					★		●	★		●	●
									★			★				●	●

“命を支えるプラットフォーマー”を実現する研究開発

代表取締役社長
北尾 裕 一
President and
Representative Director
Yuichi Kitao



クボタグループの業績はこの10年間で2倍以上の成長ができました。また海外売上高比率はこの10年間で1.4倍の約78%となり、事業のグローバル化が加速しています。

企業が社会から求められるものは時代とともに変化しますが、当社は創業当時から社会課題を解決する製品・サービスを世に出すことで発展してきました。これは「技術的に優れているだけでなく、社会の役に立つものでなければならない」という創業者 久保田権四郎の信念をずっと受け継いできたことによるものと考えます。

今後、世界の社会課題の解決に資する製品・サービス・ソリューションを提供することが私たちの使命です。

国内では、2022年に新研究開発拠点「グローバル技術研究所」を開所しました。これにより各地に分散していた研究開発拠点の人員や設備等を集約し、研究開発効率の大幅な向上を目指しています。さらに、世界の全研究開発拠点が互いに連携し、One Kubotaとしてそれぞれの特徴や強みを発揮する真のグローバル研究開発を実現する役割も果たしていきます。

全世界では気候、土壌、作物、風習、社会情勢などが地域によって異なり、社会課題もさまざまです。世界のお客様のそれぞれの立ち位置で役立つソリューションを迅速に提供するため、これまでに開所したタイ・北米・欧州の拠点に加え、中国・インドを含めた世界6極でのグローバル研究開発体制を構築していきます。

地域に密着する研究開発拠点が有機的に結びつき、各地域の社会課題解決を迅速に解決できる体制の構築を進めていきます。

このクボタ技報56号ではグローバル研究開発の事例として、タイで農作業の効率向上に貢献するIoTドローン、欧

州でのTIM (Tractor Implement Management) による肥料の最適散布、北米の研究開発拠点などを紹介しています。

「食料」の分野では、スマート農業が重要な課題です。トラクタに連動して農作業を行うインプラメントはローカル性が強いことが特徴です。本文では、自動運転・直進アシスト機能を搭載した田植機・トラクタ、欧州でのEVトラクタ・ゼロターンモア、地域特性に応じた国内外のインプラメントなどの研究開発の成果を掲載しています。

「水・環境」の分野では、水道管路の老朽化対策や下水・排水処理の処理能力・維持管理性の向上、また、自然災害による浸水被害対策など重要な社会課題があります。ここでは、水道管路の維持管理業務に貢献する水道管路状態監視用機器、施工性を改善する合成樹脂管、膜分離活性汚泥法MBRの維持管理性向上と大規模MBRの稼働事例、画像診断技術を利用した産業排水処理技術、浸水被害対策の超軽量ポンプなどについて紹介しています。

また、カーボンニュートラルは全ての産業に共通する課題であり、ここで紹介している電動化だけでなく、さまざまな研究開発に取り組んでいます。

クボタのめざす姿は「豊かな社会と自然の循環にコミットする“命を支えるプラットフォーマー”」です。常にお客様や社会の視点で課題と向き合い、解決のために全力を尽くす。この“On Your Side”の精神こそが、クボタとして社会に求められる存在であり続けるために必要なことだと考えています。これからもクボタグループの技術基盤を支える研究開発において、“On Your Side”の精神でイノベーションに取り組んでいきます。今後とも変わらぬご支援を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

R&D to become an “Essentials Innovator for Supporting Life”

The Kubota Group’s business performance has more than doubled over the past 10 years. Meanwhile, the proportion of overseas sales has increased 1.4 times in the same period to approximately 78%, indicating that the globalization of our business is accelerating.

While what society demands of a company changes with the times, Kubota, since its founding, has been growing by offering products and services that solve social issues. I believe that this is because we have inherited the belief of our founder, Gonshiro Kubota, that “Our products should not only be technically excellent, but also useful for the good of society.”

Our mission is to provide products, services, and solutions that contribute to solving social issues around the world.

In Japan, we opened a new R&D base, the Global Institute of Technology, in 2022 to consolidate the personnel and facilities of our R&D bases, which had been dispersed in various regions. We believe this will significantly improve R&D efficiency. The Institute also plays a role in coordinating all R&D bases around the world, realizing truly global R&D where the characteristics and strengths of each base are demonstrated as One Kubota.

Climates, soils, crops, customs, and social conditions vary from region to region around the world, and social issues too are diverse. To quickly provide solutions that are useful for the conditions of each of our customers, we will build a truly global R&D system with six regions around the world, adding China and India to the existing bases of Thailand, North America, Europe, and Japan.

We will work to build a system where locally oriented R&D bases are organically bound so that we can quickly solve social issues in each region.

The KUBOTA TECHNICAL REPORT No. 56 introduces some examples of global R&D, such as IoT drones that contribute to improving the efficiency of agricultural work in Thailand, optimal fertilizer application using TIM (Tractor Implement

Management) in Europe, and R&D bases in North America.

In the area of “food,” smart agriculture is an important theme. Implements connected to tractors in farming operations vary significantly from region to region. In this issue, you can read the results of our R&D—on rice transplanters and tractors equipped with autonomous driving and straight-line assist functions, EV tractors and zero-turn mowers in Europe, and implements developed to meet the needs of specific regions both in Japan and in other countries.

In the area of “water and the environment” there are important social issues, such as measures for aging water pipe systems, improvement of the capacity and maintainability of sewage and wastewater treatment, and measures to prevent flood damage in the event of a natural disaster. Topics introduced in this issue include: monitoring equipment contributing to the maintenance and management of water pipe systems, synthetic resin pipes that improve workability, examples of improving the maintenance and manageability of membrane bioreactor (MBR) systems and their large-scale operation, industrial wastewater treatment technology using diagnostic imaging technology, and ultra-lightweight pumps for flood damage control.

For carbon neutrality, which is an issue common to all industries, we are working on R&D with various themes, including electrification, which is introduced in this issue.

Kubota’s “Vision for Future” is to become an “‘Essentials Innovator for Supporting Life,’ Committed to a Prosperous Society and Cycle of Nature,” always facing issues from the perspective of our customers and society and doing our utmost to solve them. I believe that this spirit of “On Your Side” is what we need to keep the presence that is needed by society. We will continue working on innovation in the spirit of “On Your Side” in R&D that supports the Kubota Group’s technological foundation. As always, I am deeply grateful for your continued support into the future.

欧州市場向けコンパクト電動トラクタLXe-261の開発

Development of Compact Electric Tractor LXe-261 for the European Market

トラクタ技術第一部

欧州では大気汚染対策やカーボンニュートラル対応として、各地で内燃機関への規制が強まりつつあり、その規制に対応した製品の開発が求められている。欧州市場でのカーボンニュートラルへの取組みに対応するべく、クボタ初の電動トラクタであるコンパクト電動トラクタ”LXe-261”を開発した。本稿では、電動トラクタの開発に当たり、直面したフレーム強度に関する課題や高電圧ハーネスの取回しといった課題に焦点をあてて紹介する。

【キーワード】

電動トラクタ、電動機器、強度解析

In response to growing environmental concerns and the pursuit of carbon neutrality, European regulatory bodies are tightening restrictions on internal combustion engine emissions, which necessitates the development of compliant products that adhere to these regulations. In line with the European market's commitment to carbon neutrality, Kubota has developed the Compact Electric Tractor "LXe-261" as its first electric tractor. This paper focuses on the engineering challenges encountered during the development of this groundbreaking electric tractor, including issues related to ensuring frame strength and handling high-voltage harnesses.

【Key Word】

Electric Tractor, Electrified Devices, Strength Analysis

関連する SDGs



1. はじめに

欧州では大気汚染対策やカーボンニュートラル対応として、内燃機関への規制が強まりつつある。例えば、パリ市では2024年に市内循環道路内への自動車を含むディーゼル車両の乗入れ禁止を発表し、2030年までにはガソリン車を含む内燃機関の乗入れ禁止を予定している。その他の都市でも、欧州全体で2030年までにCO₂排出量を1990年比で55%削減する「Fit for 55」の達成を目指すために多くの提案がなされており、今後更なる議論が行われていくことになっている。すでに多くの欧州の自治体や公共団体で、所有する車両(自動車、作業車など)を電気自動車(EV)や燃料電池車(FCV)などのカーボンニュートラルに対応した製品への切替が進んでおり、それと同時に電動製品を充電する為の補助金や

追加予算を与えられていることで、このトレンドはますます加速していくと考えられる。

そこで、欧州市場でのカーボンニュートラルへの取組みに対応するべく、欧州の売れ筋であるB2シリーズをベースとしてクボタ初の電動トラクタであるコンパクト電動トラクタLXe-261を開発した。主な顧客ターゲットとしては、カーボンニュートラルへの切替えが進む地方公共団体を想定しており、作業としてはトラクタの牽引やモアを用いた芝刈、ロータリを用いた整地を想定している。

LXe-261の開発を通して電動トラクタならではの課題に直面し、対応した。本稿では、その一部ではあるが課題とそれに対する取組みについて紹介する。



図 1 コンパクト電動トラクタ「LXe-261」
Fig. 1 Compact Electric Tractor "LXe-261"

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

トラクタを電動化してもエンジン機と同等の仕事をする事が求められる。また、LXe-261は欧州の地方公共団体をターゲットにしており、既に保有しているインプリメントをそのまま装着できることが求められる。そこで、既存のインプリメント

を装着できるように現行エンジン機と同じ車格を維持した上で、欧州での公園管理作業においてエンジン機同等の作業を一日連続してできることをコンセプトとした。

2-2 開発目標

開発のコンセプトを満たしたコンパクト電動トラクタを実現するため、開発の目標を以下のように設定した。

(1)エンジン機同等の一日作業の実現

一度の充電で平均3~4時間の連続稼働が可能な大容量バッテリーを搭載するとともに、コンパクトトラクタ初の急速充電を採用し、昼休憩時に急速充電を行うことで、現行エンジン

機同等の一日作業(6~8時間程度)を実現する。

(2)現行エンジン機の車格の維持

電動システムの各コンポーネント(バッテリーやモータ、インバータ等)及び急速充電口を始めとする高電圧ハーネスをエンジン類が格納されていた機体前部に収まるように配置することで現行エンジン機に対して車格を維持する。

3. 解決すべき技術課題

3-1 電動機器による重量アップに伴うフレーム強度の不足

エンジン機同等の一日作業を実現するために3~4時間の連続稼働が可能な大容量のバッテリーを搭載すると、エンジン機より約25%(約220 kg)重量が増加する。さらに、エンジン機の場合、本機前側部における最重量物であるエンジン自身が強度部材として機能するのにに対し、電動トラクタでは重量

物であるバッテリーパックやモータといった電動機器は強度部材として使用できない。これらの理由からエンジン機よりも増加した電動トラクタの重量に対し、電動機器の搭載方法やいかに強度を確保するかが課題であった。

3-2 損傷リスクが高い高電圧ハーネスの配策

現行エンジン機の車格を維持するために電動システムの各コンポーネントや高電圧ハーネスを現行エンジン機で使用しているボンネット内に収める必要がある。しかし、高電圧ハーネスの特徴として高電圧・高電流に対応するために一般的なハーネスに比べて非常に太くなっており、配策性が悪く曲げRを大きくとらなければならない。また、外部からの損

傷が発生すると重大な事故につながりかねないため、ハーネスを外装部品で保護しなければならない。そのため、限られたスペースを有効に活用し高電圧ハーネスの特徴を加味した配策を行い、適切な保護を行わなければならないことが課題であった。

4. 開発技術

4-1 フレーム構造変更によるフレーム強度確保

4.1.1 解析条件の合わせこみ

実作業試験で得たひずみデータから強度解析の合わせこみを行い、電動化トラクタに対する解析精度向上を図った。開発初期の解析条件を図2に示す。センタフレームとミッションケースとの締結部を拘束し、前輪ケースの片端部に対し上方の荷重を与えていた。これに対して実測したひずみデータに合わせこみを行った解析条件を図3に示す。開発初

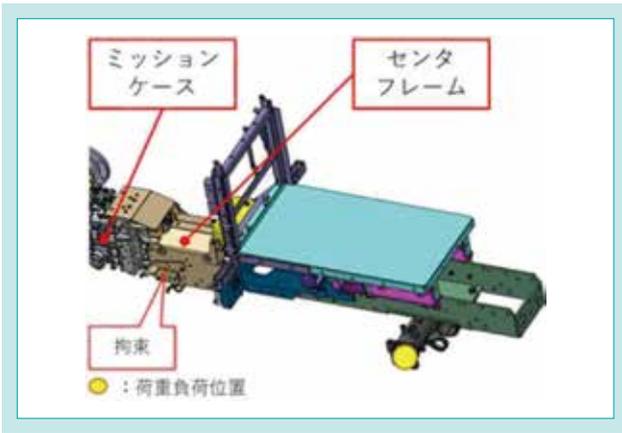


図2 開発初期の解析条件

Fig. 2 Analysis of Early Development Conditions

期の解析条件と大きく異なる点は電動機器などによる下方の荷重を追加した点である。これは前車軸が揺動した際にフレームと接触し揺動が規制される点である揺動規制点に落下した衝撃による上方の荷重が掛かるのに対して、バッテリーパックなどの重量物の重さによる抑え込むような下方の荷重も加わることが実測結果から分かったためである。

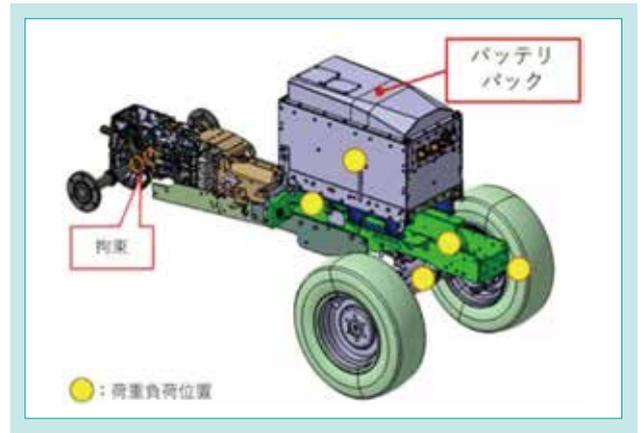


図3 新解析条件

Fig. 3 Analysis of New Conditions

4.1.2 フレーム構造の見直し

前項で説明した解析を元にフレーム構造を見直し強度向上を図った。開発初期におけるフレームはモータマウントフレームとメインフレームが別部品となっているなどフレーム関連の部品が細かく分かれており、これらの締結部分が構造的に弱くなっている箇所があった(図4)。また車体の前後を締結している部分ではバッテリーパックを支持するフレームとモータマウントフレームで囲われる強い構造体となっている前方部と現行機のセンタフレームのみの後方部に分かれており、これらの部品を境にして強度が著しく変化していたため

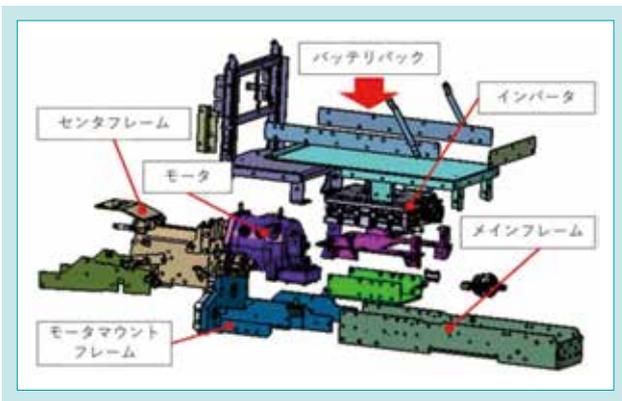


図4 開発初期の前部フレーム構造

Fig. 4 Front Frame Structure in the Early Stage of Development

応力が集中しやすい構造となっていた。そのため、実作業での応力測定の結果、強度確保ができていなかった。

そこで、このような問題に対し図5で示すフレーム構造にすることで解決を図った。改良後の前部フレーム構造では開発初期では分かれていた部品を一体化し締結箇所を少なくすることで強度の向上を図り、また前後の強度バランスが悪かった境界部分に対しサブフレームを追加し前後の橋渡しにすることで強度バランスの改善を図った。

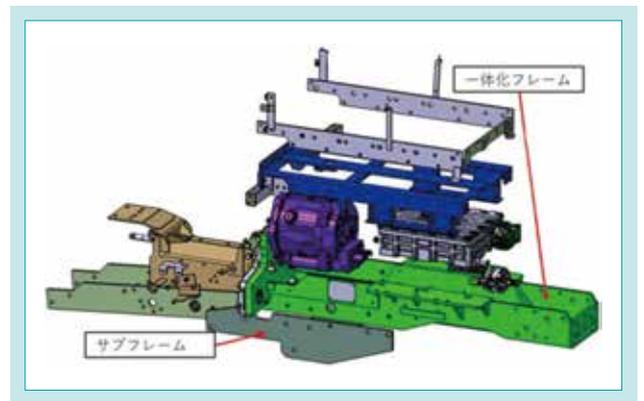


図5 改良後の前部フレーム構造

Fig. 5 Front Frame Structure after Improvement

4.1.3 解析による強度改善効果の確認

上記の構造変更による強度の改善効果を強度解析により検証した。以下に改良前後での前部フレームの強度解析結果を示す(図6、7)。開発初期に行った試験で大きなひずみが発生していたモーターマウントフレームの根本について応力を比較する。開発初期フレームと比較して、改良後フレーム

は高い応力が出ていたが、対応することで半減し、許容応力以内に収えることができた。また、実際に実機で改良後前部フレームを使用して耐久試験を行ったところ、フレームにダメージはなく、取付けボルトのトルクダウンも発生しなかった。

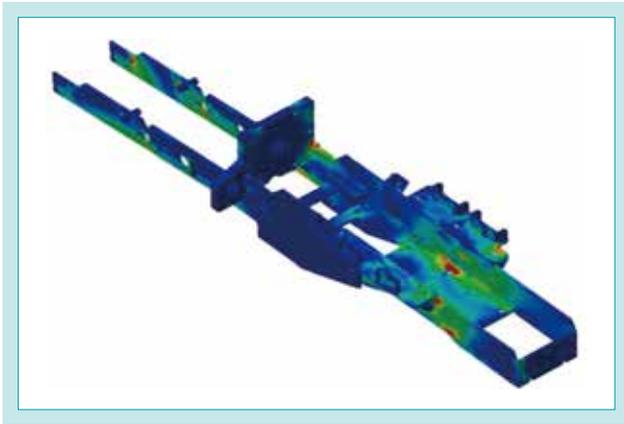


図6 開発初期フレーム解析結果

Fig. 6 Analysis Result of Frame in the Early Stage of Development

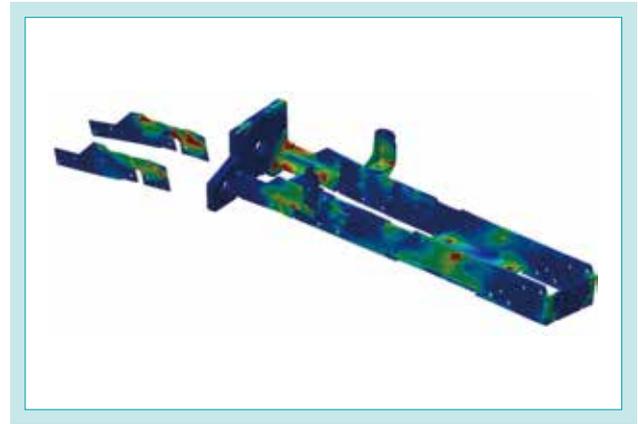


図7 改良後フレーム解析結果

Fig. 7 Analysis Result of Frame After Improvement

4-2 電動機器のレイアウト及び高電圧ハーネスの配策及び保護

4.2.1 電動機器のレイアウト

急速充電口をボンネット内に配置する以前のボンネット内用品のレイアウト(図8)を示す。ラジエータ、DCDCコンバータ、12Vバッテリーがバッテリーパックの前方に配置されており、ボンネットを閉じた状態ではヘッドランプがラジエータの上部に位置するレイアウトとなっている。このようにボンネット内は電動機器や冷却システム部品で既に大部分のスペースが占められている状態であった。そのため、新たに急速充電口及び取付ステー、高電圧ハーネスを配置するためにスペースを確保する必要があった。そこでスペース確保のため各製品の配置を検討したが以下の制約があった。

- ①ラジエータ:最前面の配置及び前方から後方に送風できる方向に向ける
- ②DCDCコンバータ:12Vバッテリーの近くに配置し冷却水の経路上に配置する

上記の制約と部品の大きさからバッテリーパック前側にある部品は前述の位置に配置しなければならなかった。そこでバッテリーパックを可能な限り後方に配置して118 mmスペースを確保(図9)することで急速充電口及び取付ステー、高電圧ハーネスの配置を可能にした。

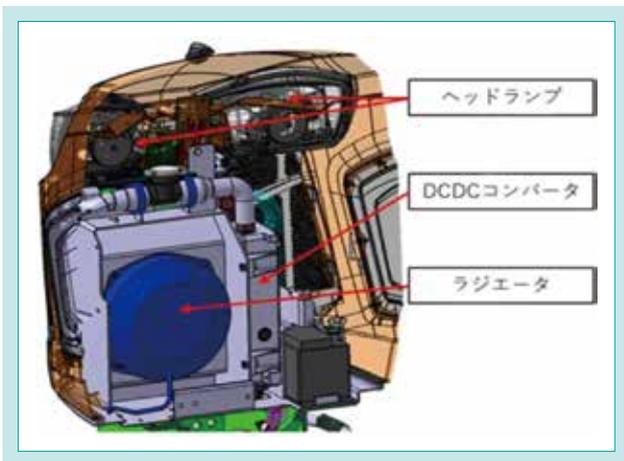


図8 バッテリーパック前方レイアウト
Fig. 8 Layout in Front of Battery Pack

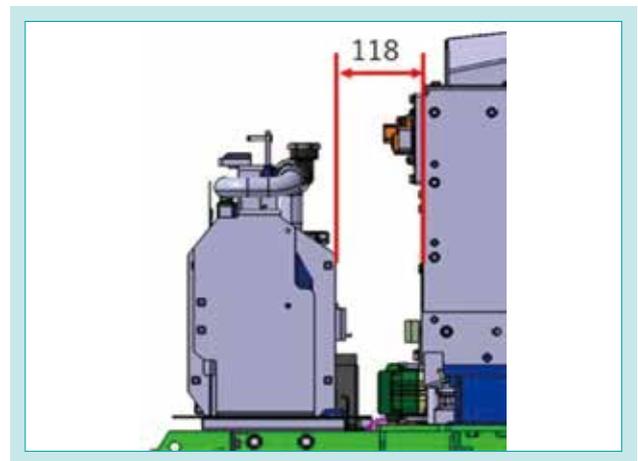


図9 高電圧ハーネス等の配策スペース
Fig. 9 Space for High Voltage Harnesses

4.2.2 急速充電口の配置

前述のスペースに配置するに当たり急速充電口と高電圧ハーネスについて大きさ以外の下記3点の制約があった。

- ① 急速充電口の向き
- ② 高電圧ハーネスには100 mm以上の直線部
- ③ 高電圧ハーネスの曲げRは80 mm以上

急速充電口の向きに制約があり、急速充電口のコンネクタ内には侵入した水分を逃がすため急速充電口を真上に向けることができない構造であった。また高電圧ハーネスについては急速充電口側のハーネスをバッテリーパックのコンネクタのサイズに変換する必要があり、作成上の都合により100 mm

以上の直線が必要であった。またバッテリーパック側のハーネスは配索性の悪さから曲げRを80 mm以上確保する必要があった。

上記の制約を考慮し急速充電口は図10に示す位置に配置した。本機左側に急速充電口を向け、充電ガンの装着性を考慮し上向きに角度をつけた。高電圧ハーネスは図11のように制約を満たすためにバッテリーパックとラジエータとの間に配索した。これによって高電圧ハーネスが外部に露出することなく配索をコンパクト化することで損傷リスクの低減を図った。

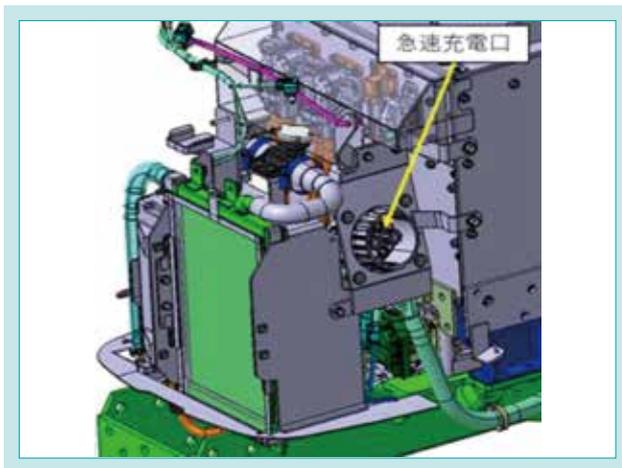


図 10 急速充電口の配置

Fig. 10 Placement of Rapid Charging Inlet

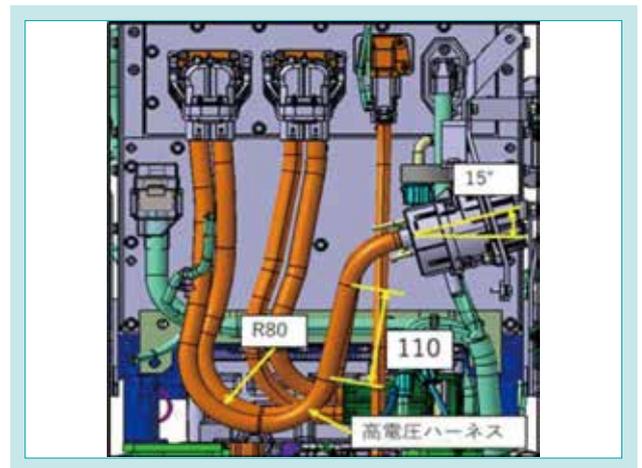


図 11 高電圧ハーネスの配索 (図 10 の前部断面図)

Fig. 11 Routing of High Voltage Harnesses (front cross-section of Fig. 10)

4.2.3 電動機器や高電圧ハーネスに対する保護

スペースの制約の影響で、電動機器を地面に近い位置にも設置している。走行時の飛び石や水しぶきから保護するため、フレーム下部にカバーを設けるとともに、清掃口を設け、蓄積した塵埃を清掃できる構造とした(図12)。また、ボンネット

ト開閉時の充電ケーブルの損傷リスクをなくすため、既存のサイドグリルの開口部を開閉式のカバーに変更し、充電時にボンネットを開閉せずに充電をできるようにした(図13)。

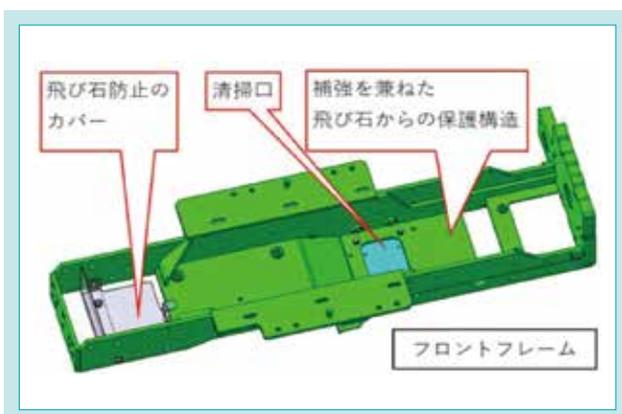


図 12 電動機器や高電圧ハーネスに対する保護

Fig. 12 Protection for High Voltage Harnesses and Electrified Devices



図 13 ボンネット内への急速充電口の格納

Fig. 13 Storage of Rapid Charging Inlet in Hood

5. おわりに

クボタとして初めての電動トラクタ開発を通して、電動トラクタ特有の課題とそれに対して行った取組みについて紹介した。電動トラクタならではの特性を理解することで課題を解決することができた。電動トラクタを開発することで、従来の化石燃料を使用する以外の選択肢をトラクタに提供することができた。今後世界的

にカーボンニュートラルへの動きが進んでいくことで、電動・ハイブリッド化や燃料電池化など動力の脱炭素化に対する期待が高まっていくことが考えられる。今後も電動トラクタを始めとして脱炭素の製品を開発していくことで持続可能な社会の実現に貢献していく。

SDGs のターゲットへの貢献

7.2 再生可能エネルギーの拡大 電動化による脱炭素化に貢献

9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善 電動化による脱炭素化に貢献

国内向け直進アシスト機能付きレクシアトラクタの開発

Development of REXIA Series Tractor for Domestic Market with “Go-Straight Function”

トラクタ技術第二部／機械研究開発第一部
機械研究開発第四部／機械研究開発第六部

日本国内では農業従事者の高齢化に伴い離農者が増加し、担い手農家や法人への農地集約と規模拡大が加速している。担い手農家や法人は効率的で安定的な農業経営が求められ、クボタは生産の効率化と省力化、作業の軽労化を支援するためスマート農業の開発を推進している。クボタは既に自動運転(アグリロボ)トラクタを販売しているが、GPS農機のファームパイロットシリーズにおいて、スマート農業の入門機種として直進アシスト機能付きトラクタであるレクシアGSを開発した。

【キーワード】

スマート農業、自動操舵、GNSS、電子制御

The Japanese agricultural sector is undergoing a significant transformation, characterized by an aging workforce, farm consolidation, and increasing farm sizes. These larger-scale farms face the challenge of managing their operations efficiently and sustainably. To address these challenges, Kubota is actively developing smart agriculture technologies that attempt to enhance production efficiency, reduce labor requirements, and alleviate the physical demands of farm work. Kubota has already launched a self-operating tractor, however, now it has developed the “Rexia-GS” tractor that features a go-straight function for entry-level model. This innovative feature demonstrates Kubota's commitment to providing farmers with practical and effective smart agriculture solutions.

【Key Word】

Smart Agriculture, AutoSteer Systems, GNSS, Electronic Control

関連する SDGs



1. はじめに

国内農業において、高齢化や後継者不足を背景に農業従事者が減少している。一方で、農地の集積・集約により1農業経営体当たりの経営耕地面積は増加し、農業機械には更なる効率化と軽労化が求められている。クボタでは効率化・高精度化・省人化・軽労化を実現するため、GNSS(Global Navigation Satellite System: 全地球航法衛星システム)を活用した田植機の直進自動操舵機能(直進キープ機能)や低～中馬力帯のトラクタの直進自動操舵機能(直進アシスト機能)を販売している。大馬力帯のトラクタでは既にアグリロボトラクタを販売しているが、スマート農業の入門機種として60馬力から70馬力にも直進アシスト機能を適応させ、ラインナップを広げた(図1)。



図1 直進アシスト機能付きトラクタ「レクシアGS」
Fig. 1 “Rexia-GS” with Go-Straight Function

直進アシスト機能とは、GPSの位置情報を基にハンドルを自動制御し、基準線の方角にまっすぐ走行する機能である。直進アシスト機能を使用する主な手順を図2に示す。①圃場内でトラクタを運転して、基準線の始点となる位置へ移動し、トラクタに搭載されたモニタを操作してA点を取得する。②手動で運転して直進し、終点であるB点を取得する。始点A、終点Bの2点から、直進アシスト機能を制御するECU(Electronic Control Unit)により、方位角が算出される。また、始点A、終点Bを結んだ直線が基準線となる。③走行開始位置に移動した後、直進アシスト機能をONにすると、ECUでの制御により基準線と平行に直進アシスト走行を開始する。④走行終了位置まで走行した後、直進アシスト機能をOFFにして直進アシスト走行を終了する。本稿では、新たに開発した直進アシスト機能付きレクシアトラクタの技術について紹介する。

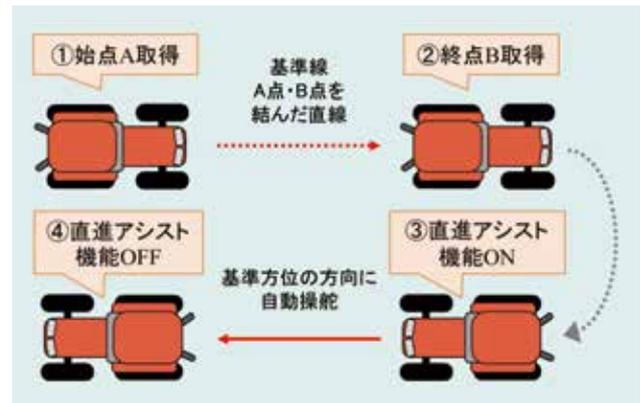


図2 直進アシスト機能を使用する主な手順
Fig. 2 Main Procedure for Go-Straight Function

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

離農や高齢化に起因して、農業に慣れていないオペレータがさらに増えることで、簡単でわかりやすい操作へのニーズが高まることが予想される。また、農家あたりの経営耕地面積増により作業時間が増え軽労化のニーズが高まることから、開発のコンセプトは以下のとおりとした。

- (1)畑作の多種作業に適応し、汎用性のある高精度な直進制御であること。
- (2)不慣れなオペレータでも簡単に作業ができること。
- (3)快適に作業ができること。

2-2 開発目標

コンセプトに沿ったトラクタを実現するために、開発目標は以下のとおりとした。

(1)多種型式・多種作業に対応

ホイール仕様とパワック仕様を採用し、それぞれの馬力違い、タイヤやクローラの種類違いなど、全32型式で高精度な直進制御が可能であること。またレクシアトラクタ特有の畑作作業にも対応すること。

(2)簡単操作

操作に不慣れなオペレータであっても容易に基準線設定ができるように過去の作業の基準方位を再利用できるシステムを構築すること。

(3)ユーザビリティ向上

テレスコ機構を採用することでオペレータが快適に作業できること。また、聴覚に訴える音声ガイダンスを採用することで視覚は作業に専念できること。

3. 解決すべき技術課題

3-1 直進制御技術

3.1.1 多種型式・多種作業に応じた直進アシスト技術の課題

作業種類によって、要求される作業車速やトラクタにかかる負荷が異なるため、作業に応じた自動操舵制御が必要である。また、使用するトラクタのタイヤ種類・トレッドなどの装

備状態や圃場の状態によっても最適な制御が変わるため、汎用性の高い制御を行うことが課題であった。

3.1.2 丘曳きプラウ作業時の強制操舵制御

オペレータの習熟度が求められる作業の1つにプラウ作業があるが、前工程のプラウ耕でできた溝に片輪を落とさずに耕起する丘曳きと、溝に片輪を落として耕起する溝曳きがある。丘曳きプラウ作業は前工程跡との間隔を一定に

保ち、溝に落ちないように作業する必要があるが、実際に直進アシスト走行させると、前輪が溝に落ちてしまい制御できない状態になることがわかった。そのため、溝に落とさないように制御することが課題であった。

3-2 基準方位の設定

手動で運転して始点A、終点Bを取得して直進アシスト機能を使用する場合、基準方位取得のためには圃場端で始点A、終点Bを取得する必要があるが、基準方位の設定のため

に毎回事前に圃場で走行する手間を省くためにはどうすべきかという課題があった。

3-3 サポート機能の採用

3.3.1 テレスコ構造

軽劣化のためテレスコ機構を採用したが、直進アシストの自動操舵用のモータをステアリングの下部に配置しているた

め、テレスコ保持力の確保と足元空間確保の課題があった。

3.3.2 音声ガイダンス

オペレータが作業機や運転に集中するためのサポート機能として音声でモニタのガイダンス指示やエラー情報を案内する音声ガイダンスがある。今回、トラクタで初めて音声ガイダンスを追加することにした。音声ガイダンスを採用すること

で、運転操作や本機の制御状態をタイミング良く把握することができるが、作業中のキャビン内でも聞き取りやすい音声の開発、機能拡充等に伴うアップデートやメンテナンスを容易に行えるシステムの開発が課題であった。

4. 開発技術

4-1 汎用性のある高い直進精度制御技術

4.1.1 多種型式・多種作業に応じた直進アシスト技術

インプラメントや作業条件に関わらず高い直進制御精度を実現するため、作業ごとに専用の制御チューニングを行った。しかし、馬力やタイヤ仕様などの多くの型式や、トレッド、圃場の条件によっても必要な制御条件は変わるため、作業ごとに7段階の感度調整を可能とし、汎用性を確保した(図3)。感度設定は図4のように0を普通設定とし、泥地や粘土質など地面からの抵抗が大きく操舵に大きな力が必要なときに行う敏感側3段階と、硬く乾いた土地など地面からの抵抗が少なく小さい力で操舵できるときや、左右に振られやすい場合に行う鈍感側3段階の合計7段階とした。



図4 感度設定のモニタ画面
Fig. 4 Sensitivity Setting on Monitor Screen



図3 必要な制御の組み合わせ
Fig. 3 Combination of Required Controls

4.1.2 丘曳きプラウ作業時の強制操舵制御機能の追加

丘曳きプラウ作業の制御チューニングを試行していく中で土質・圃場条件によってはプラウに加わる作業負荷の加わり方が大きく異なることや、残耕の不均一さによる突発的な負荷には対応できないことから通常の直進制御のみでは対応できず前輪が溝に落ちていることが分かった。熟練者はこれらの条件を予測してハンドルを操作して対応しているため、直進制御に加えて上記のイレギュラな条件にも対応できるような機能が必要となった。この丘曳きプラウ特有の前工程の溝に落ちる現象を回避するために、通常の直進制御に加えて補正スイッチを用いて溝と離れる方向へハンドルを切ることを可能とする機能を追加した。具体的には補正スイッチを長押ししている間のみ一時的に直進制御を解除し、押した方向に強制的にハンドルを切ることを可能とした。長押しによってトラクタが目標ラインから必要以上に逸れることを防ぐために操

舵角に上限を設けた。また、強制操舵後、直進制御に復帰する際には目標ラインに到達するまで再進入を緩やかにする制御とした。これらにより、熟練者がハンドル操作によって溝に落ちるのを回避し作業跡を乱さないように作業を継続するという挙動を、補正スイッチ操作のみで実現した(図5)。

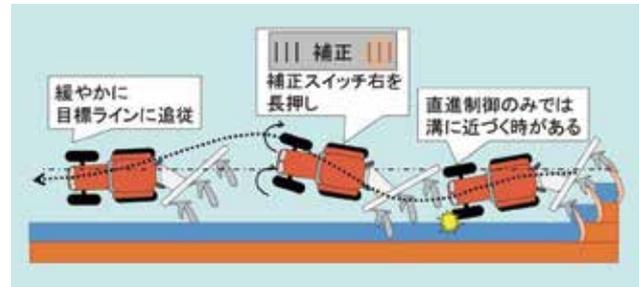


図5 強制操舵制御の例
Fig. 5 Example of Forced Steering Control

4-2 基準方位再利用システムの開発技術

基準方位の設定時に、過去の作業の基準方位を再利用することができれば、毎回事前に圃場を正確に走行する必要がなくなり作業を効率化できる。この機能を実現するため、クボタが提供している営農支援システムであるKSAS (Kubota Smart Agri System)を活用した基準方位を再利用できるシステムを開発した。KSASを利用した基準方位再利用システムのユーザ利用イメージを図6に示す。①圃場で始点A、終点Bを取得し、基準方位を作成(作業種類や作業幅などを設定する必要がある場合は設定する)、もしくは基

準方位を車載モニタから入力する。②基準方位を使用して直進アシスト機能により自動操舵を行う。ここで使用した基準方位が、KSASに自動アップロードされる。③次回作業時、トラクタとスマホの操作を行い、KSASにアップロードされている基準方位をダウンロードする。④ダウンロードした基準方位で直進アシスト機能により自動操舵を行う。

システム開発にあたり、基準方位のアップロード時の自動保存機能とダウンロード時の事前設定画面について述べる。

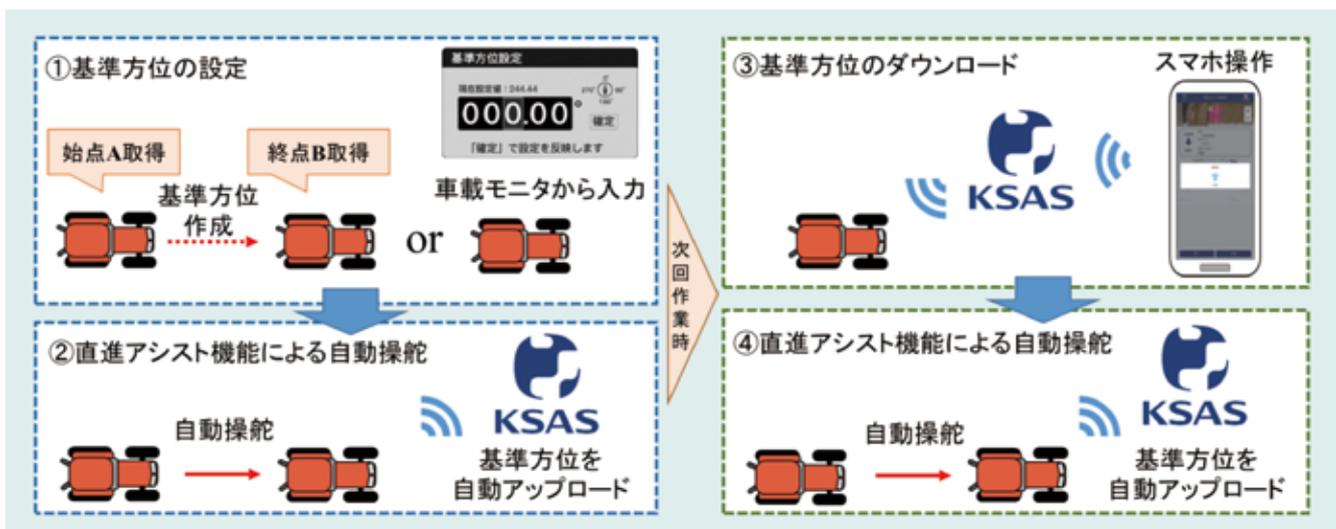


図6 KSAS を利用した基準方位再利用システム
Fig. 6 System for Reusing Target Azimuth

4.2.1 基準方位の自動保存機能

クボタは既にトラクタとKSASサーバでの無線通信を行う直接通信ユニットを利用したサービスを提供している。直接通信ユニットには車両の情報を自動で保存し、KSASサーバに

アップロードする機能がある。この機能を用いて設定したすべての基準方位の情報をKSASサーバにアップロードして蓄積することで、容易に基準方位を保存することができる。しかし、

基準方位を誤って作成した場合には不要な基準線も含めて保存してしまうため、再利用の際、必要とする基準方位を探すのに時間がかかってしまう。この問題を解決するため、直進

アシスト開始・終了のタイミングでの基準方位のみ保存することにした。これにより、実際に直進アシストで使用した基準方位のみを保存し、不要な基準方位が保存されるのを防ぐ。

4.2.2 基準方位の事前設定機能

基準方位の再利用時に、現場でのスマホ操作時間を短くすることを目的に、作業指示者と実作業者の操作内容を分ける設計を行った。作業指示者が事前にダウンロードする基準方位などを圃場ごとに設定しておき、実作業者は現場でトラクタに乗車して実際にダウンロードのみを行うようにする。事前設定、現場でのダウンロードをスマホで操作するフローを図7に示す。これにより、手間がかかり判断が必要な操作を現場での作業から省略することができ、作業の効率化が見込まれる。

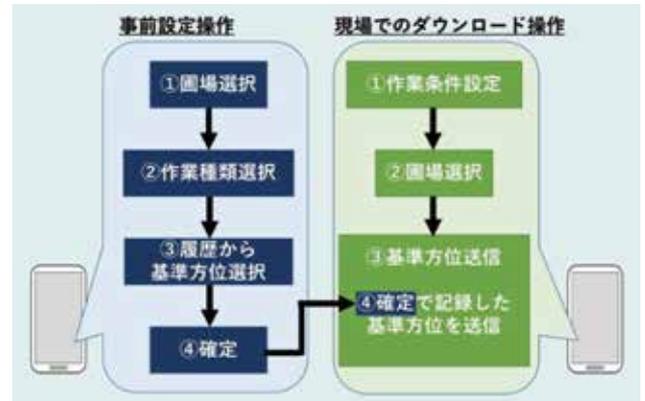


図7 事前設定と現場でのダウンロードの操作フロー
Fig. 7 Operation Flow for Pre-Configuration and On-Site Downloading

4 - 3 サポート機能の開発

4.3.1 テレスコ構造の開発

4.3.1.1 直進アシスト機能付きテレスコ構造

標準仕様に対して直進アシスト用のギアボックスやモータ等がステアリング下部に追加となるため、その重量に耐えうるテレスコロック機構の実現が必要である。図8のような円柱のくさび部の全体で円柱全体を変形させてテレスコのロック力を発生させる構造にすることで、大きな保持力を確保し、直進アシスト機能付きテレスコ構造を実現させた。

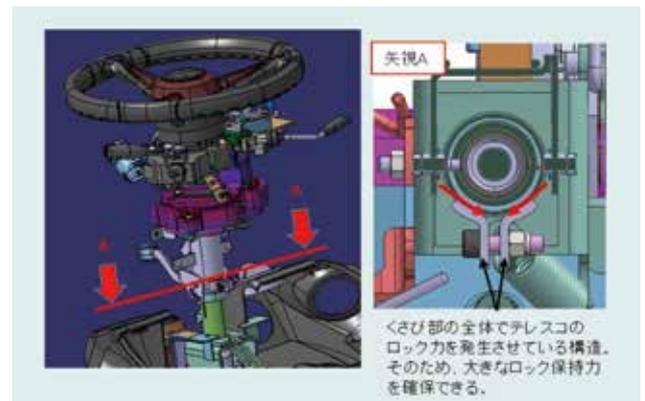


図8 テレスコ構造
Fig. 8 Structure of Telescopic Mechanism

4.3.1.2 テレスコ操作レバーの保持構造

テレスコレバー操作は足元空間確保のため、下方向へのレバー操作でハンドル位置をロックする構造を採用した。この構造の場合、上方向へのレバー操作でハンドル位置のロック解除した際に、自重でレバーが下方向に動くことで半ロック状態となるため、ハンドル位置調整時の摺動抵抗が増大し、ハンドルの位置調整が困難になる。そのため、レバーが自重で落下しないように保持部材によりハンドル位置のロック解除位置でレバーを固定することで、半ロック状態になることを防ぎ、容易に操作を行える構造とし、足元空間の確保を実現した(図9)。

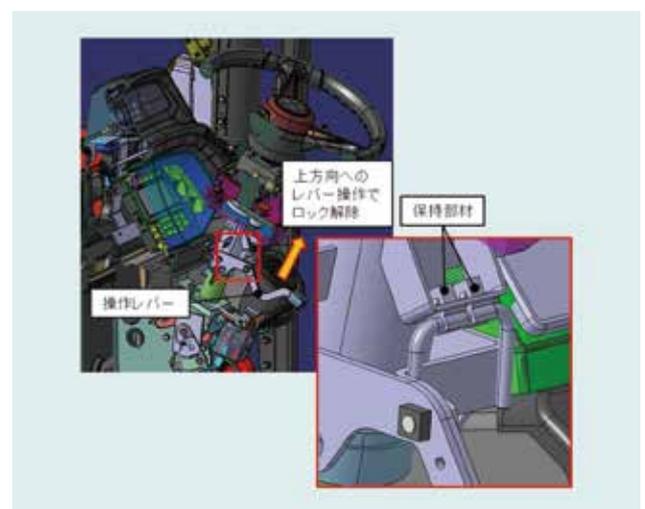


図9 テレスコ操作レバーの保持構造
Fig. 9 Structure of Telescopic-Locking Lever

4.3.2 音声ガイダンス技術

音声ガイダンスを実現するために必要となる、音声データ・音声再生ソフトウェア・音声再生ハードウェアの3要素は、これまで他製品で既成のガイダンスユニットを採用したが、メンテ

ナンスの容易化・開発効率向上を目的として内製化を実現した。

4.3.2.1 音声ガイダンスの搭載

ECUにマイコンと再生回路を内蔵し、ソフトウェアで必要に応じた音声を再生する構成を実現した(図10)。できるだけ大きな音を得るため、音声波形のダイナミックレンジを圧縮して平均音圧を上げ、一般的なカーステレオ用途の大口径スピーカーを選択した。さらに、低音域の音圧確保と共振防止のため、リジッドな板金ケースにスピーカを収納した。これにより作業中の騒音の中でもオペレータが十分に聞き取ることのできる音量を実現した。また、ユーザの好みに応じるために音量を3段階から選択できるようにした。発話スピードについては、確実にメッセージを伝達することを目的に、実機を用いたユーザビリティテストを実施し最適化した。以上によりオペレータに伝わりやすい音声ガイダンスユニットの搭載を実現した。

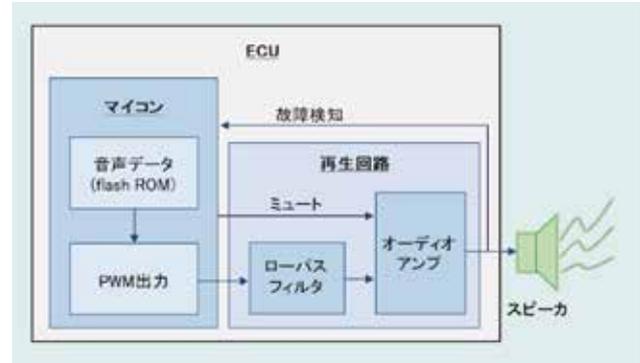


図10 ECUによる音声再生のハードウェア構成
Fig. 10 Hardware Configuration for Audio Playback by ECU

4.3.2.2 音声データの開発

今回の開発では自動音声合成を導入することで、肉声の収録をする手間をなくし、直進アシスト機能に必要な音声データの差替えやメンテナンスを容易に可能とした。音声データは、サンプリング周波数を上げると音質が良くなるが、一方でデータ量が増加するために多くのメモリを必要とする。このトレードオフについては、複数のサンプリング周波数の音声データを

実際に実車にて聞き比べ、メッセージを正確に聞き取るために最低限必要な仕様として、サンプリング周波数を選択した。音声フレーズについては聞こえ方が不自然にならない程度に複数の音声パーツに細分化し、同じ単語や文節を使いまわすことで音声データ量を削減し、マイコンの内部メモリに収めることで製品価格を下げることに貢献した。

5. おわりに

本開発により、クボタの直進アシスト機能付きトラクタは低馬力から高馬力までラインナップが揃い、スマート農業の入門機として開発することができた。また、農業に慣れないオペレータでも簡単に、快適に作業することができるため、ユーザの疲労軽減に貢献

できると考える。今後もスマート農機市場は拡大していくことが見込まれており、自動化技術は日本の農業に必要不可欠である。更に技術を発展させていき、より良い製品を開発し、日本の農業に貢献していく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

- 2.1 飢餓の撲滅 農業生産の省力化により食糧増産に貢献
- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 自動操舵機能により農作業の効率化に貢献
- 9.5 科学研究、イノベーションの推進 ラインナップの拡大により先端農業の普及に貢献

欧州市場向け電動ゼロターンモアZeシリーズの開発

Development of Electric Zero-Turn Mower Ze series for the European Market

ターフ技術部／機械研究開発第二部

2024年、クボタは欧州市場向け電動ゼロターンモアZeシリーズ(Ze-481/Ze-421)の上市を予定している。Zeシリーズは、欧州の自治体やコントラクターなどプロ市場向けに開発されたクボタ初のリチウムイオン電池駆動式乗用芝刈機である。プロの求める一日作業を可能とするため、交換式のバッテリーパック機構を備え、走行と芝刈作業のために複数のモータ、インバータを搭載している。地球環境の保全に貢献し、これらを実現するために新たに開発したメカ構造、車両制御技術、バッテリーパック及び電動化システムの開発技術について紹介する。

【キーワード】

電動化、リチウムイオン電池、モータ・インバータ、協調制御

In 2024, Kubota will introduce the electric Zero Turn Mower Ze series (Ze-481/Ze-421) for the European market. The Ze series is Kubota's first lithium-ion battery-powered riding lawn mower developed for professional markets such as municipalities and contractors operating within the Europe. It features a replaceable battery pack mechanism, multiple motors, and inverters for driving and mowing to enable the one-day work required by professionals. We will introduce novel developed mechanical structures and vehicle control technology, battery packs, and an electrification system development technology that contribute to the conservation of the global environment and achieve these goals.

【Key Word】

Electrification, Lithium-Ion Batteries, Motors/Inverters, Coordinated Control

関連する SDGs



1. はじめに

クボタは、環境経営を推進するサステナブル企業として、SDGs やパリ協定などの様々な社会動向をふまえ、2050年に向けた環境ビジョンにおいて環境負荷ゼロへの挑戦を掲げている。その実現に向け、環境に配慮した製品として、電動化への関心が高い欧州市場向けに電動ゼロターンモアZeシリーズ(Ze-481/ Ze-421)を発売する(図1)。Zeシリーズは欧州の自治体やコントラクターなどプロ市場向けに開発されたクボタ初のリチウムイオン電池駆動式乗用芝刈機である。



図1 Zeシリーズ (Ze-481)
Fig. 1 Ze Series (Ze-481)

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

プロ市場向け電動ゼロターンモアを開発するに当たり、顧客の要望は従来のエンジン機と同様、一日の作業を可能とし、高い操作性や作業性能が必要であった。また、クボタ初のフル電動のゼロターンモアとして、バッテリーパック・インバータ・モータといった従来のエンジン機では実績がない電動化

部品を用いるため、特にリチウムイオン電池を採用した製品は、安全性・信頼性・耐久性が求められていた。

そこで、本開発では「プロ市場向けに一日の作業が可能で、高い操作性と作業性能と耐久性を持ち、安全・安心な電動ゼロターンモア」を開発コンセプトとした。

2-2 目標値

開発コンセプトを満たした電動ゼロターンモアを実現するため、開発の目標を以下のように設定した。

(1)プロの求める1日作業(6~8時間)の稼働時間の実現

ゼロターンモアの機能・性能を満足するスペースや重量的な制約から1日作業するのに十分な容量のバッテリーパックを搭載することはむずかしい。そのため、バッテリーパックを交換式の構造とし、容易に充電、交換、車両接続できること。

(2)プロユーザー向けの高い操作性・刈性能の実現

改良を積重ねてきた油圧式無段変速機(HST)の操作フィーリングとエンジン機同様の作業性能を論理的な電子制御で実現すること。

(3)長期間安心して使用してもらえる安全性・信頼性・耐久性の実現

国連輸送規格、欧州バッテリーパック規格等の電池規格に適合し、初の電動化製品でも従来のクボタに期待される安全性・信頼性・耐久性を持つこと。

3. 解決すべき技術課題

3-1 プロの求める6~8時間の稼働時間の実現

採用した10 kWhのバッテリーパックの重量は約90 kgであり、重量物であるバッテリーパックをゼロターンモアの後部に交換式の構造として成立させること、これらを車両の振動や環境に適応させることが大きな課題であった。

また、交換式バッテリーパックを車載状態でも単独でも充電

可能とするため、BMU (Battery Management Unit)に充電器制御機能を追加し、VCU (Vehicle Control Unit)の制御なしで芝刈作業中に充電可能な交換用バッテリーパックを開発することが課題であった。

3-2 プロ市場向けの高い操作性・刈性能の実現

ゼロターンモアがプロ市場で人気の理由は、左右の操作レバーで直進走行や一点旋回による機敏な動作が可能なためである。これを実現している左右独立のHSTを電動トランスミッション(VCU+インバータ+モータ)に置き換えた。しかし、精密な速度制御を実装すると直進性が悪くなり、直進性を改善しようと制御パラメータを変更すると、旋回性能が悪くなるという問題が生じた。これはオペレータが走行軌道を修正するときに、レバーを操作すると前後進と旋回の指令が同時に発生してしまうこと、HSTが持っていたアナログ特性が無くなったためである。デジタル制御を使い、ゼロターンモアのHSTが実現している機敏でスムーズな操作性を実現することが大きな課題であった。

図2に従来のエンジン機の構成を示す。

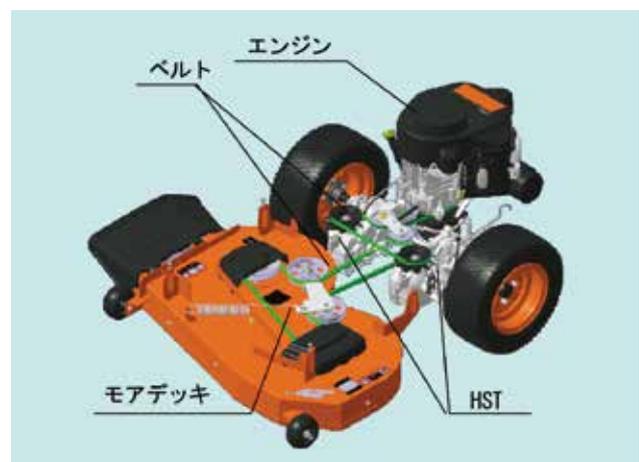


図2 エンジンゼロターンモアの駆動部構成

Fig. 2 Drive Unit Configuration of Engine-type Zero Turn Mower

エンジン機の場合はブレード回転が低下するような大きな負荷がかかるとエンジン回転も低下し、HSTの速度も低下することでブレード回転が自然と復帰するようになっていた。今回開発したZeシリーズは左右独立の電動トランスミッションに加え、芝刈作業を担うモアデッキには一つのデッキモータを搭載している。モータ、インバータは短時間に定格以上の出力が可能であり、出力バランスはオペレータではなく、車両制御を担うVCUが複数のモータを協調制御する必要がある(図3)。

ブレード回転が低下するような大きな負荷がかかっても、走行モータ、デッキモータをそれぞれ制御している場合、ブレード停止状態でも走行可能であり、オペレータが刈残しに気付かず操作してしまうことがある。また、刈残しを気にしているとオペレータが常に注意しながら操作する必要がある。

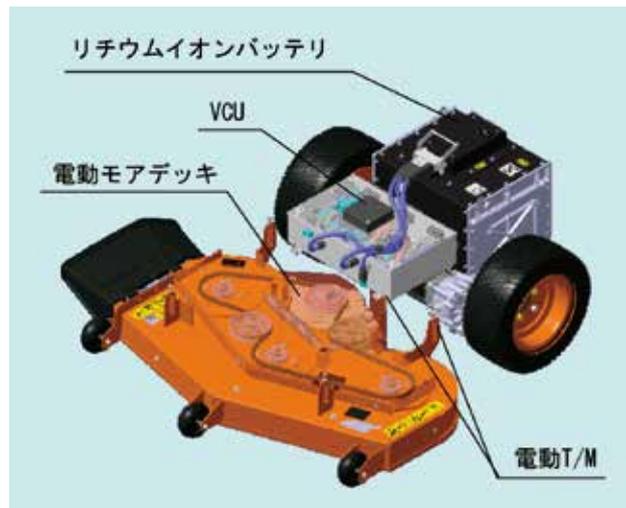


図3 電動ゼロターンモアの駆動部構成
Fig. 3 Drive Unit Configuration of Electric Zero Turn Mower

3-3 初の電動製品としての安全性・信頼性・耐久性の実現

クボタ初の電動製品としての安全性・信頼性・耐久性を実現するため、バッテリーパックは製造国である日本から欧州へ輸出するための国連輸送規格UN 38.3¹⁾に適合させること、欧州の産業用リチウムイオン電池規格であるEN 62619:2017²⁾に適合させること、が課題となった。

また、モータ、インバータ、充電器については、フォークリフト等の産業機器で実績のある部品を転用し、エンジン機の開発で蓄積してきた各種性能試験・耐久試験・信頼性試験をクリアすることが課題となった。

4. 開発技術

4-1 交換式バッテリーパック技術

4.1.1 交換式バッテリーパック技術の実現

重量物であるバッテリーパックを交換式にするには、人力で容易に交換できる構造、車載状態でも単独でも充電できる機構や制御機能を実現する必要がある。

4.1.2 交換式バッテリーパック技術の解決策

道路脇の縁石などの障害物を乗り越えるため、車両後部に搭載するバッテリーパックは約190 mm持ち上げる必要があった。この作業を人力で行うために開発した構造が図4のとおりである。バッテリーパック重心と車両側に設けたローラ支点を近づけ、運搬用キットのハンドル力点との距離を10倍以上とすることで僅か1/10以下の力で重量物であるバッテリーパックを容易に持ち上げる構造を開発した。

更に、バッテリーパックの交換に工具が必要となるボルト固定構造ではなく、交換の容易化のため、従来からインブルメント等の重量物の固定に用いられているロックピン構造を採用し、ゼロターンモアの振動や衝撃にも耐える交換機構を開発した。

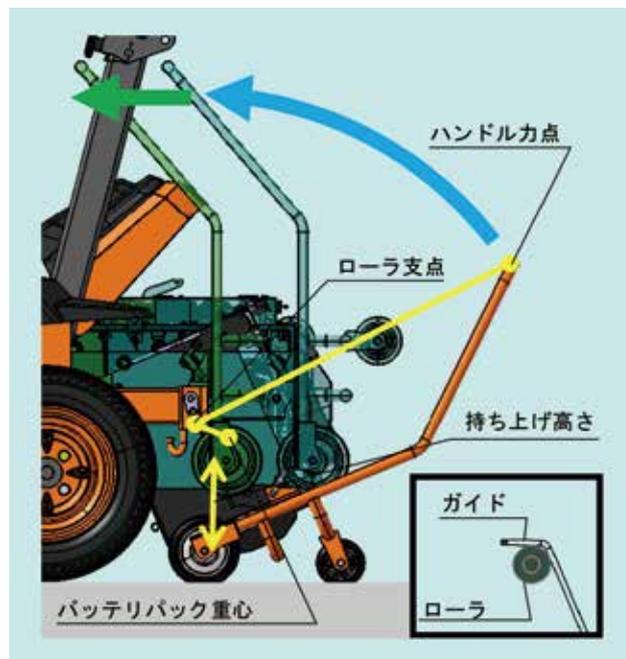


図4 交換式バッテリーパックの操作力
Fig. 4 Operating Force of Replaceable Battery

また、交換式のバッテリーパックとして成立させるためには、車載状態でも、取外した単独状態でも充電可能とすることが必要であった。その機能を実現するため、バッテリーパック上部に車両側とのパワーコネクタと充電コネクタを備えた構造とした(図5)。また、バッテリーパックに内蔵されたBMUがマスタとなり、温度や電圧などの充電状態に合わせた最適な電流指示を行い、安全に充電できる制御を実現した。



図5 バッテリーパックの充電方法
Fig. 5 How to Charge the Battery Pack

4-2 複数モータの協調制御技術

4.2.1 複数モータの協調制御技術の実現

搭載している3つのモータ(左右の駆動モータ、デッキモータ)をそれぞれ制御した場合、例えば、左走行モータの速度制御に右走行モータによる車体の動きが外乱となるため、直進操作が難しかった。また、デッキモータが過負荷

4.2.2 操作性に関する制御技術の解決策

ゼロターンモアは左右の操作レバーで左右のタイヤ回転数を独立に制御し、滑らか、かつ小回りが利く乗用芝刈機である。フル電動化のため、HSTを廃止し電動モータにしたことで、左右のタイヤ回転数が精密に速度制御され、ギクシャクして過敏な操作性のために刈跡が蛇行してしまい、開発初期は見栄えの悪い状態になる問題が発生した(図6)。

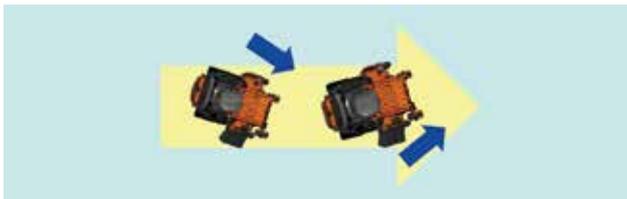


図6 電動ゼロターンモアの過敏性(開発初期)
Fig. 6 Hypersensitivity of Electric Zero Turn Mower (Early Development)

また、従来機では駐車ブレーキレバーと操作レバーが別々に設けられており、より簡易な操作のブレーキ機構が求められていた。そこで、電動モータでも制御パラメータの調整でHSTのような滑らかな走行性能と、電動化による精密な制御を活用した操作レバーによる自動パーキングブレーキ機能を開発した。

① 滑らかな電動走行システム

電動走行システムに、HST機の動特性を取り入れる制御アルゴリズムを開発した。エンジン機のHST動特性の例を図7に示す。四角で囲んだ左折時を見ると、L(左)タイヤはLレバーによる速度指令よりも速い回転数で回転している。また、R(右)タイヤは、Rレバー指令よりも遅い回転数で回転し

状態でも、走行モータには影響がないため、ブレード回転が低下した状態で走行する使いにくさが生じた。これらの問題を解消し、デッキモータの性能を最大限に活かしながら、綺麗な刈跡を実現することが課題であった。

ている。ゼロターンモアは左右の操作レバーでタイヤの回転数をそれぞれ独立制御しているが、片方の回転が反対側のタイヤに外乱として働き、操作レバーの速度指令がHST内部の油圧応答遅れ(アナログ特性)により、速度制御性がなまり、過敏な応答が抑制されている。

電動走行システムでも、この特性を演算で実現し、HSTの油圧制御特性による自然な出力トルク応答を数式化した論理制御により、滑らかな操作性の制御を実現した(図8)。

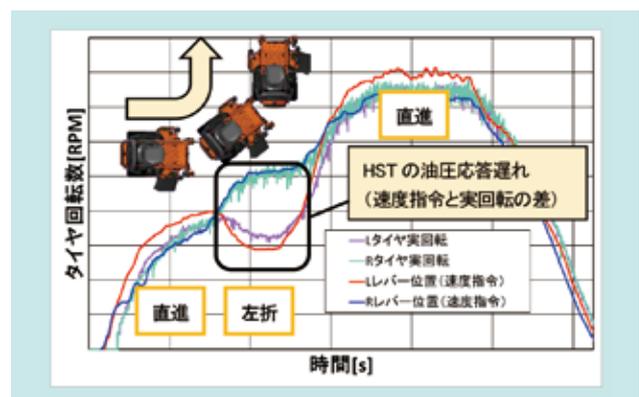


図7 エンジン機 操作指令と実タイヤ回転数
Fig. 7 Engine Machine Operation Command and Actual Tire Rotation



図8 制御アルゴリズムで改善された直進性
Fig. 8 Straight Forwardness Improved by Control Algorithms

② 自動パーキングブレーキ機能

HSTとは異なり電動トランスミッションはタイヤの回転数を精密に制御できる。その特性を使い、左右の操作レバーが一致しているときは、操作レバーの指令に忠実に制御を行う。この性能とオペレータが車体から離席する際に、左右の操作レバーを必ず開く機構を組合せることで、HSTのダイナミックブレーキのように車体を減速させた後、電動技術で正確に0速度制御し、離席時にレバーを左右に開くと傾斜地でも安全かつスムーズな発進停車ができる自動駐車ブレーキを開発した(図9)。



図9 自動パーキングブレーキのかけ方
Fig. 9 How to Apply the Automatic Parking Brake

4.2.3 刈性能に関する制御技術の解決策

プロに受入れられる高い刈性能の実現にはデッキモータの設定回転数を維持することが重要である。高負荷時にブレード回転を維持し、刈残しなく作業するため、負荷に応じた作業速度協調制御(K-SENSE™)を開発した(図10)。

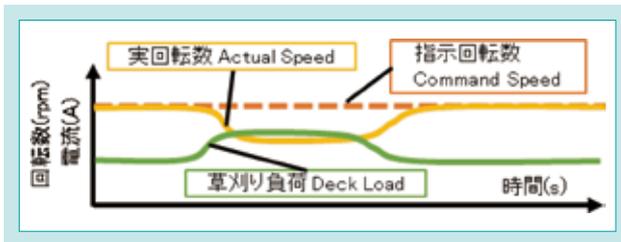


図10 草刈り負荷と走行モータの協調制御
Fig. 10 Coordinated Control of Drive Motors for Mowing Loads

オペレータの走行レバー操作(走行モータへの指示回転数)が一定の場合でも、負荷に応じて走行モータの指示回転数を一時的に自動で減速させ、負荷が抜けると復帰する協調制御を組込んだ。負荷はモアデッキの刈幅や設定刈高さだけ

でなく、圃場の草の種類や密度等様々な条件で変動する。これらに対応するため、モータ電流値の閾値を段階的に設定することで、負荷が少なければ走行速度の低下を少なく、負荷が多ければ走行速度の低下を多くし、様々な芝刈条件に対応した。また、芝の密度が減るなどして負荷が減少すると直ちに走行速度を自動で上昇させ、作業速度の低下を最小限に抑えつつ刈性能の向上を図った。これにより、オペレータが刈跡を気にしてきめ細かなレバー操作をする必要がなく、モアへ投入される芝の量を抑制することで、デッキモータのパワーを最大限に引出す作業が可能となった(図11)。

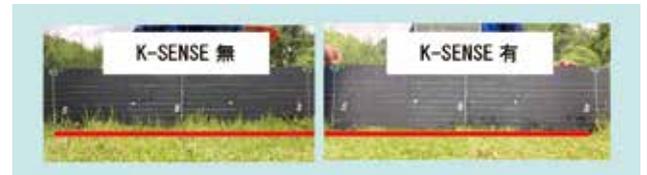


図11 協調制御有無の刈跡
Fig. 11 Cutting Marks with and without Cooperative Control

4-3 バッテリーパックおよび、電動化システムの開発技術

要求性能を確保しながら安全・高耐久なバッテリーパックを開発するための重要技術として、バッテリーセル選定技術、安全化制御技術、信頼性確保技術がある。これらを合わせてZeシリーズ専用バッテリーパックを開発した。また、プロのお客様の作業計画に関わるバッテリー残容量の高精度算出技術の開発に取り組んだ。以下にこれら技術について説明する。

バッテリーセル選定技術は、長年各バッテリーモジュールの充放電特性、発熱特性、環境温度特性、劣化特性の評価を独自に行い、A社の量産電気自動車向けバッテリーモジュールを採用した。体積エネルギー密度と出力特性が良いラミネートタイプのバッテリーモジュールを採用することで、小型(約64 L)で、高出力(最大10 kW)、長寿命(保証期間3年1500時間)のバッテリーパックを実現した(図12)。

安全化制御技術は専用のBMUIに適用し、①バッテリーセルの制御、および②バッテリーセルのバランス調整機能を新規で

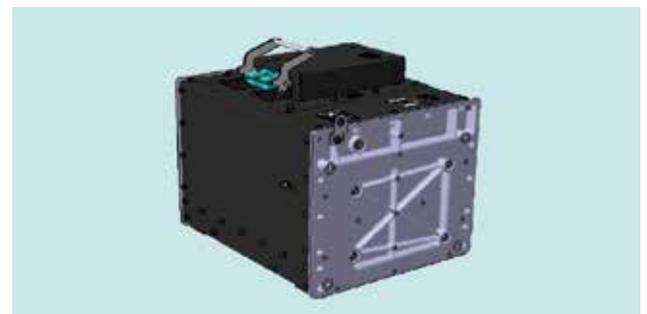


図12 Ze シリーズ専用バッテリーパック
Fig. 12 Battery Pack for Ze Series

開発した。①バッテリーセルの制御を以下に説明する。バッテリーパック内部には6個のモジュールが配置され、各モジュール内にはバッテリーセルが存在する。モジュールの温度監視用にサーミスタを設置し、BMUIは各モジュールの電圧、電流、温度状態を常に監視し、閾値を超えないように充放電

を制御する。更に、不測の事態でバッテリーパックに異常が生じて、主回路部の両極を解放できるリレー、回路を遮断するヒューズを付加することで、より安全を確保できるフェールセーフも組込んだ。②バッテリーセルのバランス調整機能を以下に説明する。繰返し充放電を行うとバッテリーセル電圧にばらつきが出てくる。電圧のばらつきが大きくなると1つのセルにかかる負荷が大きくなり過放電や過充電になる可能性が生じる。そのため、全セル電圧・電流を監視し、作業中でも最高セル電圧のセルをバランス調整用の放電抵抗に接続し、自動でセル電圧を均一にするバランス調整機能を開発した。また、充電はバッテリーの総電圧ではなく、最高セル電圧とモジュール温度に基づいて充電電流を算出し、電圧バランスが崩れた場合でも過充電を防ぐ制御技術を実現した。

安全を確保するために重要なもう一つの信頼性確保技術として、作業環境を再現する恒温槽と実作業の負荷状態を再現できる充放電サイクル試験設備を開発した。本装置で1000時間以上の試験を複数回行うことで、プロ用途の耐久性とサイクル寿命を自社内で効率よく確認した。また、UN38.3やEN62619:2017における試験条件で、振動試験、衝撃試験、高温試験について、自社内で評価できる環境を整え、認証試験合格までの期間短縮を実現した。

加えて、バッテリーパックの重要技術として、残容量の高精度算出技術がある。バッテリーは低温、低残容量においてバッテリー残量のばらつきが生じやすい。そのため、放電電流を積算した電流積算量と放電可能電流量の割合から残容量を求め、更に補正係数を乗じることで、残量を正しく表示する残

量補正アルゴリズムを開発した。

また、これらのモジュール温度やセル電圧、充電回数等のデータ監視のため、メンテナンスツールやテレマティクスデバイスに対応した。これらの技術を組み合わせることにより、安全機能としてEN 62619:2017規格で求められるISO13849-1の安全性(PLレベルC以上)を実現した。

続いて、モータ、インバータは購入品であり、安全性と品質を確保するためにはクボタ基準で再評価する車両試験環境で追認試験が重要であった。そこで、信頼性・耐久性評価のために新設した電動システムの評価設備を用いて、モータ・インバータ・VCUの各種温度試験、振動耐久試験等、全30項目以上の信頼性試験、1000時間以上の耐久試験を実施し、モアの作業負荷環境における信頼性・耐久性を追認できた。また、専用充電器は、バッテリーパックと共に充電口挿抜耐久試験を実施し、車両耐久時間で想定される使用回数以上の耐久性を確認した。最後に、ヒートバランスを考慮した制御を実装し、実負荷環境を模擬した高温ベンチ試験でも、バッテリーパックが満充電状態から空になるまで継続してモア作業ができることを確認し、欧州の高温環境下に適応した電動システムを実現した。

これらのバッテリーパックを含む技術開発を行い、事前に評価・検証試験を実施した結果、欧州現地試験を一回で合格し、クボタ初の電動モア用のバッテリーパックを含む技術開発を行うことができた。

5. おわりに

クボタは持続可能な社会の実現のため、リチウムイオン電池を搭載した電動ゼロターンモアZeシリーズを開発した。今後は、市場の評価や要望をもとに、製品仕様や制御改善を行うことで、更に使いやすく楽に作業できる芝刈機を開発していく。

また、本開発技術をベースに他の芝刈機やコンパクトトラック等の電動化製品のラインナップを拡充し、魅力的な電動製品を市場へ提供し、SDGsへ貢献する取組みを続けていく。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 化石燃料に比べ、エネルギー効率を50%以上改善

9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善 電動システム制御技術を開発

13.2 気候変動対策に関する政策の策定 欧州の政策に適合する製品を導入し、CO₂の90%削減に貢献

参考文献

- 1) 国連規格 Recommendations on the Transport of Dangerous Goods:UN38.3(リチウム一次・二次電池とその輸送)
- 2) EN 62619:2017 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes
- Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications

自脱型7条刈コンバインDR7130の開発

Development of 7-rows Head-feeding Combine Harvester DR7130

収穫機技術部

近年、日本国内では、農家の高齢化や後継者不足によって増加する休耕地を、担い手農家へ集約する動きが続いている。結果、担い手農家一戸当たりの圃場面積が拡大しており、作業能率の向上が不可欠となっている。また、担い手農家は経営効率化の為、補助金が交付される飼料米などの新規需要米の作付けを増やしているが、これらの品種は長稈などの刈取作業が難しい特性を持っている。こうした状況に対応する為、クボタでは「取回しの良さ」と「作物搬送性能」を兼ね備えた、新しいコンセプトの自脱型7条刈コンバイン「DR7130」の開発を行った。本稿では、そのコンセプトを達成する為に行った開発技術について紹介する。

【キーワード】

コンバイン、高能力、取回し性、高作業能率

In Japan, fallow land, which is increasing due to the aging of farmers and shortage of successors, is being consolidated to large-scale farmers. Consequently, the amount of crop fields per household to farmers is increasing, which necessitates the improvement of work efficiency. In addition, to improve management efficiency, the planting of new demand rice such as feed rice is increasing; however, these varieties have limitations such as long culms that are difficult to reap. To address these limitations, Kubota has developed a novel 7-rows combine harvester “DR7130” that combines “optimal handling” and “crop transport performance.” This paper introduces the development technologies that facilitate this novel concept.

【Key Word】

Combine Harvester, High Working Capacity, Good Handling, High Performance

関連する SDGs



1. はじめに

近年、日本国内では、農家の高齢化や後継者不足によって増加する休耕地を、担い手農家に集約する動きが続いている¹⁾。一方、これら休耕地の有効活用の為、政府主導で、飼料米といった主食用以外の新規需要米の作付けに多くの補助金を交付している。これらの品種は作物全長が長く(以下「長稈」という。)、刈取作業が難しい側面があるにもかかわらず、担い手農家は経営効率化の為にこれらの作付面積を広げている²⁾。このような状況下において、担い手農家は、限られた刈取適期に、より多くの面積の刈取作業を行う必要がある為、作業能率を向上させるニーズが顕在化した。

作業能率向上の手段として、例えば、農機の台数を増やし、複

数台で一度に作業を行うことでより多くの面積の刈取作業を行うことが可能となる。しかしそれと同時に、機械や機械を操作できる人員確保による管理コストが増加することで担い手農家の負担が増える。

また、これまでのフラッグシップモデルである6条刈コンバインDR6130では、ユーザによっては疲労軽減の為、最高車速2.05 m/sを出さずにゆっくり刈取作業を行っており、作業車速アップではニーズに応えることができない。

以上の理由により、農家の負担なく能率向上を図る手段として、現行機DR6130に対して刈取条数を増やす7条刈コンバインの開発に取り組むこととした。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発課題とコンセプト

7条化への懸念として、機械が大きくなることによる取回しの悪化や、DR6130に対して1条分の作物ボリューム・搬送経路が増えることによる搬送不良の増加といったものがあり、かえって作業能率が低下する可能性もある。これらの多条化による課題を克服し、作業能率向上に寄与するコンバインの開発を行った。

課題解決の為の最適な形として、開発機は、取回しと作業能力の両面で市場評価の高いDR6130の車体に、クボタ初の7条刈取部を搭載する構成とし、「取回しの良さ」と「作物搬送性能」を兼ね備えた自脱型7条刈コンバインをコンセプトとして開発を行った(図1)。



図1 自脱型7条刈コンバイン「DR7130」
Fig. 1 7-rows Head-feeding Combine Harvester DR7130

2-2 目標値

刈取条数が増えることで、同一区画の作業を想定した場合、DR6130に対して旋回回数が減少する。直線刈取作業時の能率はDR6130同等を維持し、この旋回回数減少により、全体で約10%の能率向上を見込む。この時必要なDR7130の最高作業車速は、DR6130の最高作業車速2.05 m/sに対し、

1.8 m/sと算出できる。また、市場調査によると、DR6130であっても最高作業車速では疲労感が大きいことを理由に1.8 m/sまでの車速範囲でしか使用しないユーザも多い。DR7130は1.8 m/sとして、ユーザの疲労軽減も図ることを可能とする。

3. 解決すべき技術課題

3-1 取回し性の確保

7条化に伴って刈取部の左右幅が大きくなることにより、機動性や操作性といった取回しが悪化する恐れがあり、そ

の中で、特に次の二つの課題があった。

3.1.1 7条刈幅とトラック積載性の両立

担い手農家の多くは、点在する圃場間を移動する為に、コンバインをトラックに積載して運搬する作業体系をとっている。しかし、従来の考え方で7条刈取部を構成した場合、トラックに

積載するには、一部の部品を外す必要が生じる。圃場間移動のたびにこれらの作業を行うと、機動性が損なわれ、収穫作業全体の作業効率が著しく低下してしまう懸念があった。

3.1.2 壁際・あぜ際の刈取作業性

通常、コンバインでの刈取作業は圃場の外周部から反時計回りに行う(図2)。圃場が壁や高いあぜに囲まれていた場合、車体右最外側に対して刈取部右端の方が内側にあると、周囲刈り(図2 赤矢印部)の際に刈残しが発生したり、接触を避ける為に都度ミラーを畳む必要が生じたりと、作業能率が低下する恐れがある。特にDR6130で運転席の居住性向上の為にキャビンを大型化した際、キャビン最外側が刈取右端より突出する構成となった為、より取回し性の確保を重要視した本開発機については、これを解消する必要があった。

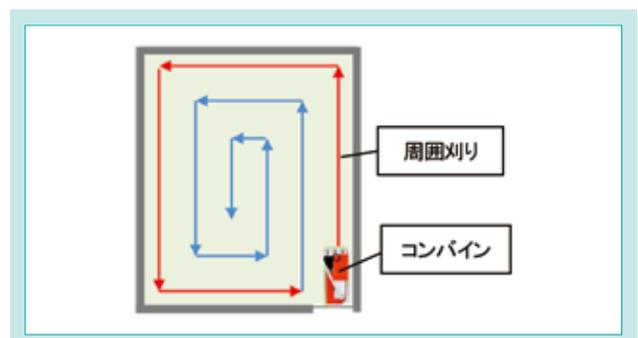


図2 一般的な刈取作業経路
Fig. 2 General Reaping Work Path

3-2 作物搬送性能の確保

7条化による作業能率向上の効果を得るには、狙い通りの刈取作業車速を維持できることが前提となる。しかし、作物搬送経路が増えることや、今後も増えていくと考えられる新規需

3.2.1 長稈作物刈取時の負荷低減

高ボリュームや長稈といった特徴を持つ作物の刈取作業では、作物の穂先が搬送途中に各部と接触しやすく、それが抵抗となり、搬送姿勢が乱れやすい傾向がある。作物の搬

3.2.2 追加1条枠の搬送性能確保

他社7条刈において、追加した中搬送部の駆動を、搬送作用部に対して上流側に構成する方式をとっているものがある。この方式では搬送作用部を「押す」方向に力を伝えるこ

要米の作物特性によって負荷が増加し、狙い通りの作業車速を維持できなくなることが懸念された。これに対し、十分な作物搬送性能を確保する為、次の二つの項目が課題であった。

送姿勢が乱れたまま脱穀部へ供給されると、脱穀負荷が増大し、狙い通りの作業車速を維持することが困難となり、作業能率は低下してしまう傾向にあった。

とになる。その為、搬送チェーンが緩みながらの搬送となり、搬送性能が不安定になりやすい。

4. 開発技術

4-1 コンパクト刈取部

4.1.1 コンパクト化の検討

機械をそのままの状態トラックに積載するには、一般的な7トラック荷台のあおり内寸である2400 mm以内にあおり高さ400 mmまでの部分を抑える必要がある。それに対して、稲の植え付け条間は一般的には300 mm、北海道などの一部地域では330 mmとなっており、7条分刈には、単純計算で2310 mmの刈幅が必要となる。この寸法はあおり内寸に

収まっているものの、実際は分草パイプに付随する補強部材やサイドカバー、左分草かんといった機能・外装部品が必要となる。現行の6条刈取部の外装部品を当てはめて、これらの寸法を計上していくと、刈取部全幅は2460 mmとなり、トラックからはみだしてしまうことがわかった。

4.1.2 コンパクト化の解決策

(1)分草パイプの配置

300 mm条間を基準とし、一部の分草パイプ間距離のみを拡げることで330 mm条間作物への適応も可能とした。これにより、刈幅を当初の計算値2310 mmから2230 mmとし、全体の拡幅を最小限に抑えた(図3)。

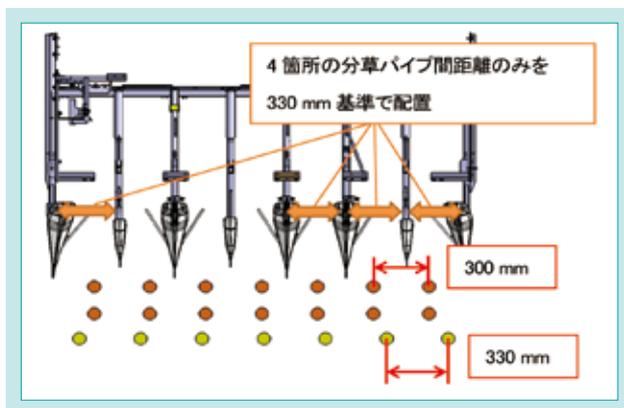


図3 分草パイプの配置
Fig. 3 Split Pipe Layout

(2)作物搬送系レイアウトの検討

前項で決定した刈幅内に、作物搬送経路のレイアウトを収めることが必要となる。しかし、作物搬送経路幅自体を従来の構成より狭めてしまうと、作物ボリュームによっては詰まり発生の起因となると考えられる。そこで、経路自体は従来の空間を維持しつつ、非作用部を可能な限り狭めることで、限られたスペースに搬送系を配置することができた(図4)。

(3)サイドカバー形状変更

デザインを一新し、薄型設計とすることで対応した。またこの時、カバーに窪みを設けることで、左分草かんが収納状態でサイドカバーに入り込む形状とし、全幅に対する機能・外装部品の影響を低減させることができた(図5)。

(1)~(3)の解決策の結果、トラックのあおり高さ400 mm以内を2330 mmにまで幅を狭くし、従来の考え方(330 mm × 7条 + 外装 = 2460 mm)による幅寸法を大きく下回り、トラック積載の容易化を実現した。

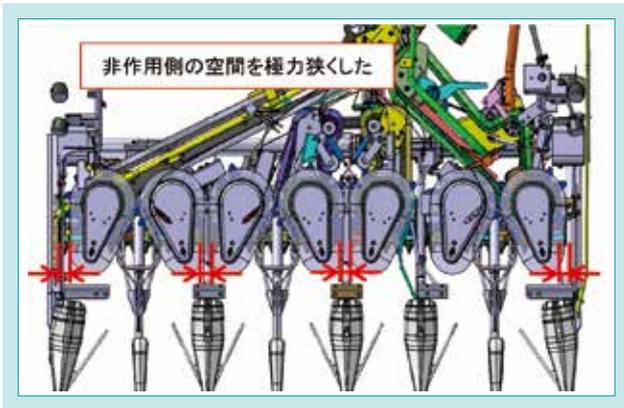


図4 搬送系のレイアウト
Fig. 4 Layout of the Transport System

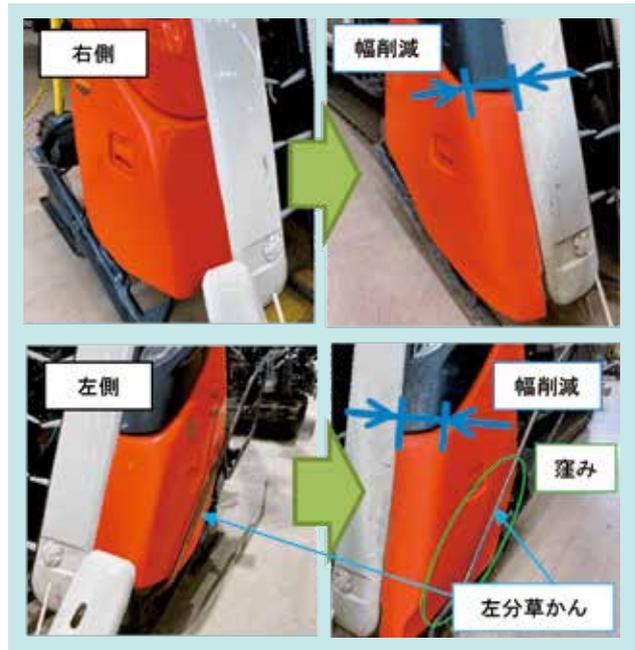


図5 サイドカバーの形状変更
Fig. 5 Changing the Shape of the Side Cover

4-2 刈取部搭載位置の最適化

4.2.1 刈取部搭載位置の検討

壁や高いあぜで囲まれた圃場の外周刈取時、その影響を少なくするには、本機に対して刈取部を極力右寄りに配置する必要があるが、極端に右側に出過ぎると、条合わせを行う

為の右デバイダ位置の視認性悪化につながる。また、機体全体の車幅が広がることで、前述のトラック積載性も損なわれる。そこで、搭載位置の最適化が必要となった。

4.2.2 刈取部搭載位置の最適化

検討を重ねた結果、本機に対する刈取部右端の位置を、DR6130と比較して190 mm右側へ構成することで、車体のほぼ中央に刈取部を配置し、他の性能を損なうことなく、これま

で刈取ができなかった部分まで刈取可能範囲を広げ、壁際・あぜ際での作業性を確保した(図6)。

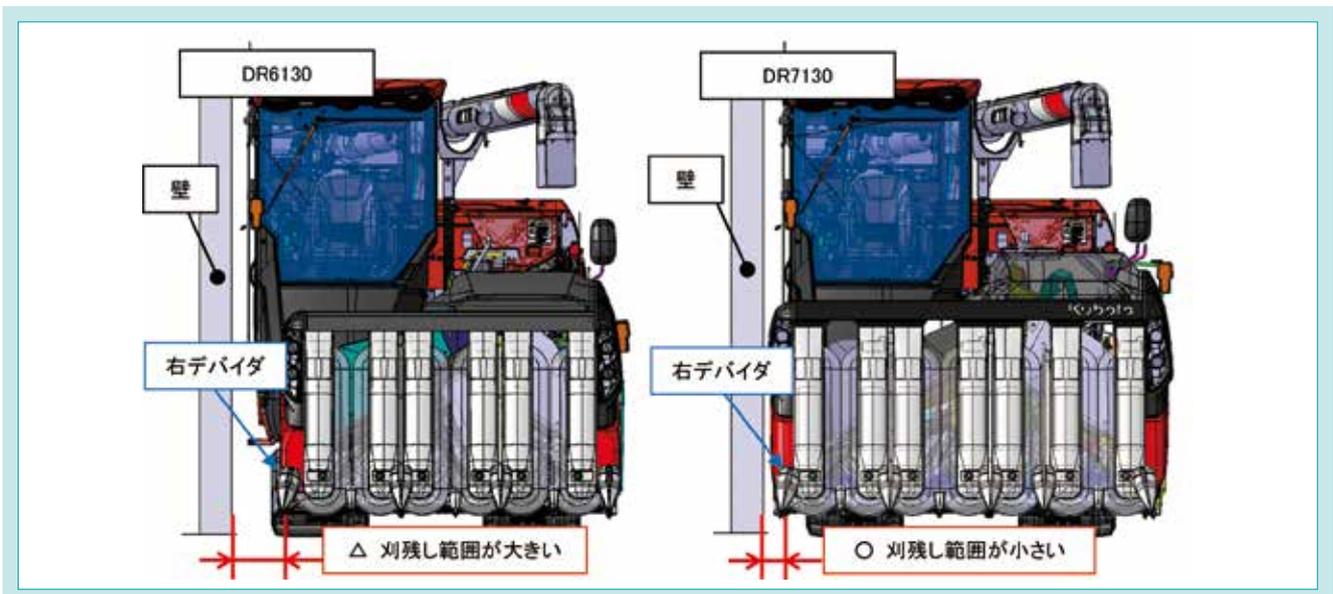


図6 壁際の刈取性能比較
Fig. 6 Comparison of Cutting Performance at the Wall

4-3 引起し上部空間の拡大

4.3.1 長稈作物刈取時の供給姿勢の改善

脱穀負荷の増加を防ぐには、作物の供給姿勢が重要となる。株元側に対して穂先側が先に脱穀部へ入るような斜めの姿勢、つまり穂先側が先行した姿勢が理想的な供給姿勢となるが、新規需要米などの長稈品種を刈る際は、この適正な供給姿勢が満たされない場合が多い。

その理由として、刈取部内を作物は搬送チェーンにより搬送されるが、引起し通過時、作物が長いと、穂先が図7のように引起し上部と接触してしまう。この時、穂先が抵抗を受けたまま、株元が搬送される為、作物は機体前方向に倒れるように姿勢を崩し、また、引起しを抜けた後も、防塵カバー内側で穂先が擦れ続け、株元の搬送に対してますます穂先が遅れてしまう傾向にある。その結果、脱穀部に作物が供給される際、理想の供給姿勢に反し、穂先が遅れてしまう為、脱穀負荷が増加し、作業能率が低下してしまう。

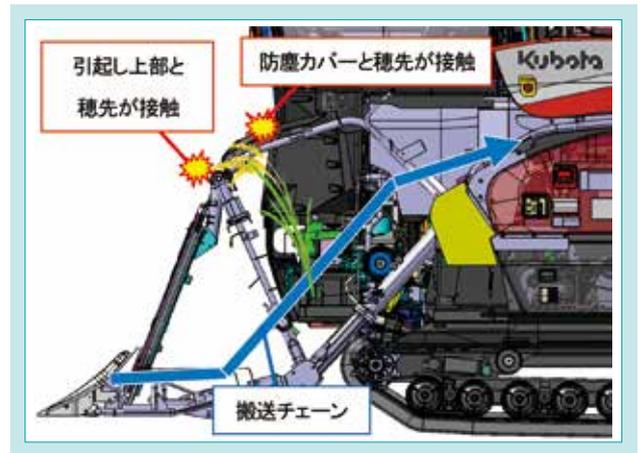


図7 長稈作物搬送の問題点
Fig. 7 Problems of Transporting Long-culm Crops

4.3.2 引起し上部空間の拡大方法

長稈作物の供給姿勢改善を図る為、穂先の接触を極力低減させるよう、引起し枠上部の拡大を行った。

引起し上部を機体左右方向に走る引起し横駆動軸を上へ持ち上げる為、図8に示すパイプケースを軸心方向に延長し、持ち上がった横駆動軸を基準として引起し部と上部フレームを移動させた。この時、引起し性能を維持する為、引起し爪が作用する最下点および駆動スプロケットの位置はキープしたままとした。これらの変更により、引起し上部の空間を従来機に対して50 mm上へ拡大、また、防塵カバー位置を115 mm上へ移動させることができ、作物穂先の通過性を確保した。

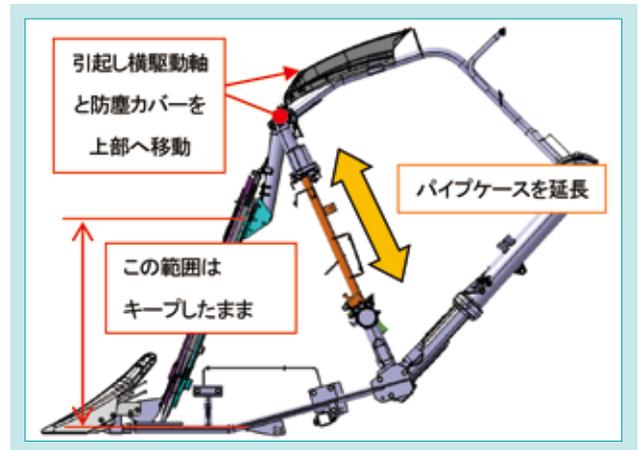


図8 引起し上部空間の拡大方法
Fig. 8 Method for Enlarging Upper Space of the Raising Part

4.3.3 引起し上部空間の拡大による効果

本構成により、従来機では穂先が引起し上部に激しく接触していたが、DR7130ではこれを軽減でき、防塵カバーに関しても内側のラインと作物の穂先間に十分な空間確保が可能となった(表1)。また、脱穀負荷に関しては、約36%の低減がみられ、長稈品種に対する作業能率を確保することができた。

表1 引起し上部空間拡大による性能比較
Table 1 Performance Comparison by Enlarging Upper Space

	DR6130	DR7130
引起し上部		
防塵カバー		

4-4 追加1条枠の独立駆動化

4.4.1 追加1条枠の駆動方式

前述の通り、他社7条刈において、追加した中搬送部の駆動を搬送作用部に対して上流側に構成する方式をとっているものがある。この方式では搬送作用部を「押す」方向に力を伝えることになる。その為、チェーンが緩みながらの搬送と

なり、搬送性能が不安定になりやすい。

そこでDR7130ではこの弱点を克服するために、搬送作用部を「引く」力で作物搬送を行えるよう、中搬送を独立駆動させるクボタ独自の構成とした。

4.4.2 追加1条枠の独立駆動化

搬送能力確保の為に他社機と大きく異なるのは、6条刈→7条刈とした際の追加1条分の搬送帯の配置である。他社機は右から3条目に追加をしているのに対し、本開発機では左から3条目に搬送帯を追加した。これにより、刈取部全体の元となる駆動ケースから比較的近い箇所に追加1条枠の駆動軸を配置することができ、必要最小限の分岐構成で独立した駆動を実現した。本構成により、図9に示すとおり、駆動スプロケットを搬送作用部に対して下流に配置することができ、搬送チェーンを「引く」方向に駆動させることで、安定的な搬送能力の確保を可能とした。

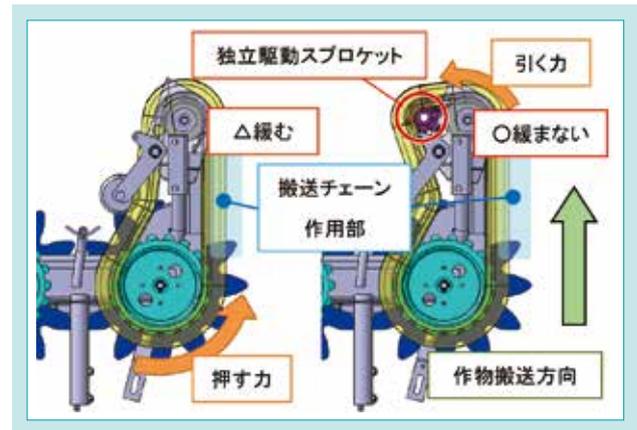


図9 追加搬送部駆動方式の違い
Fig. 9 Difference in Driving System of Additional Part

4-5 開発の成果

各開発技術を取り入れることにより、7条化による作業能率向上と、それに伴い生じるマイナス要因を排除した7条刈コンバインの開発を行った。実際に同一条件下でDR6130と行った作業時間の比較結果を表2に示す。

結果、作業時間にして約10%の作業能率向上を実現し、狙い通りの開発目標を達成することができた。

また、2022年に実施したモニタテストにおいても、能率の向上や各開発技術についての性能の高さをユーザに実感していただき、疲労度も少ないという評価を得ることができた。

表2 作業能率の比較結果

Table 2 Comparative Results of Work Efficiency

項目	作業時間	条刈り回数	横刈り回数	旋回回数	疲労度
DR7130	19分36秒	24回	24回	47回	○少ない
DR6130	21分45秒	27回	27回	53回	△多い
低減量	2分09秒	3回	3回	6回	-

5. おわりに

各開発技術に関して、目標通りの作業性・性能確保を達成し、DR6130との能率比較試験では、約10%の作業能率向上を実現した。これにより、担い手農家の作業能率向上の市場ニーズに貢献できた。

今後は、さらなる作業能率向上に向け、これまで作業能率確保が困難だった領域でダウンタイムを低減するなど、刈取作業全体

のさらなる作業能率向上を図る。

また、本開発で作業能率向上は得られたものの、経営圏場が拡大するにつれ、今後も長時間の作業が必要と考えられる。そこで、ICT技術を駆使し、自動運転や各種アシスト機能の拡充によって、ユーザの省力・軽労化の為に開発に取り組んでいく。

SDGs のターゲットへの貢献

2.4 持続可能かつ強靱な農業の実現 作業能率向上により、刈取作業の省力・軽労化に貢献

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 クボタ初の自脱型7条刈コンバインで担い手の営農効率化に貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 農業の労働力不足に対し、刈取作業の省力化に貢献

参考文献

1) 農林水産省:「令和3年度 食料・農業・農村白書」

https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r3/pdf/zentaiban.pdf, (参照日 2023-09-21)

2) 農林水産省:「飼料用米をめぐる情勢について」

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kokumotu/attach/pdf/siryouqa-121.pdf>, (参照日 2023-09-21)

自動運転機能付き田植機NW8SAの開発

Development of Autonomous Driving Rice Transplanter NW8SA

移植機技術部／機械研究開発第三部
機械研究開発第六部／機械研究開発第一部

クボタは2016年に直進キープ機能付き田植機(以下「GS田植機」という。)を市場に投入し評価されている。しかし、田植え作業に慣れていない人は、直進キープ機能だけでは圃場全面を美しく植え付けることは難しい。そこで、本開発のコンセプトは、「田植え作業に慣れていない人でも簡単にストレスなく圃場全面をキレイに植えられること」として、自動運転機能付き田植機の開発に取り組んだ。本稿では、自動運転に適した作業ルート、圃場外周部のぬい走行技術、自動運転特有の技術について紹介する。

【キーワード】

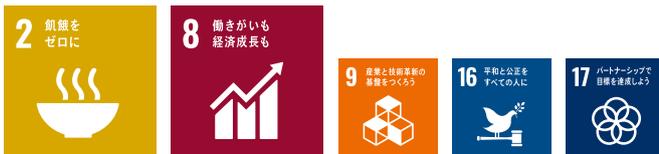
乗用田植機、自動運転、作業ルート、ぬい走行

Kubota introduced a rice transplanter with a straight-line motion function (hereinafter called “Go Straight (GS)” function). However, it is difficult for unskilled workers to achieve rice planting on entire rice fields via the GS function alone. Therefore, to realize the objective behind this development concept, which was to enable even unskilled/inexperienced rice-farm workers to easily and stress-freely plant entire rice fields, we developed a rice transplanter with an automated driving function. In this paper, we described the working route for automated driving, trace running control at the outer areas of rice fields, and characteristic technologies unique to autonomous driving.

【Key Word】

Rice Transplanter, Autonomous Driving, Working Route, Trace Running

関連する SDGs



1. はじめに

国内農業は農家数が減少傾向にある中、担い手農家に農地が集約し、経営規模が拡大している¹⁾。担い手農家は規模拡大に伴い作業者の人員を確保したいが、就農者減少により困難となってきている。田植え作業は、圃場に対して苗の重なりや空きがなく、まっすぐきれいに植えることが求められる。やり直しがきかないため、田植機の操作は身体的、精神的にも負荷が高い状態で、熟練した操作技術が必要である。さらに田植え作業は限られた期間内に所定の面積を作業しなければならず、作業者の技量は重要である。このような状況下で、田植えに対する省人化、自動運転による熟練作業者相当の田植えのニーズが高まっている。

そこで、これらのニーズに応えるため新たに自動運転機能付き田植機を開発した(図1)。



図1 自動運転機能付き田植機 NW8SA
Fig. 1 Autonomous Driving Rice Transplanter NW8SA

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

クボタは、農家の人手不足を解消し省力化を実現するために、2016年にGS田植機を市場投入した(図2)。GS田植機では、直線走行部分を自動走行することで評価されたが、旋回操作や圃場形状に合わせた植付操作、圃場外周部の植付作業など、手動操作が残っていた。そのため、田植え作業に慣れていない未熟練者一人では圃場1枚を仕上げることは難しい。このような状況において、未熟練者でも圃場1枚を仕上げられるように自動運転適応範囲の拡張が望まれていた。そこで、本開発コンセプトは「田植え作業に慣れていない人でも簡単にストレスなく圃場全面をキレイに植えられること」として、業界初の圃場全面に対応した自動運転機能付き田植機の開発に着手した。



図2 直進キープ機能付き田植機 EP8D
Fig. 2 Go-Straight Function Rice Transplanter EP8D

2-2 目標値

開発の目標として、自動運転を使用した圃場全面の田植え作業が熟練作業員以上の仕上がりを実現することとした。熟練作業員以上の仕上がりとは、一定間隔で圃場に隙間なく、曲線部では圃場の形状に沿って苗が植え付けら

れることである。さらに、圃場面積に対する自動運転で植付作業できる面積の割合を「自動化率」とし、マップ取得が可能な範囲で、自動化率90%以上となることを目標として取り組んだ。

3. 解決すべき技術課題

3-1 最適自動運転作業ルート作成

熟練作業員以上の仕上がりを実現するには以下、3つの要件が重要になる。

- ・圃場形状に合わせた最適な作業ルート作成
- ・無駄のない作業ルート作成
- ・苗の植え残し、重なりがないこと

これを満たすことが可能となれば、手動操作より作業効率が向上し、圃場全面を隙間なく植え付けることで収量の安定化にもつながるため、重要な要素である。また、自動運転機能を発揮することができれば農家が機械を導入するメリットにもつながる。

3-2 圃場外周部の走行

圃場全面を植えるためには、圃場の外周部に存在するあぜやあぜに設けられた圃場内に水を入れるための取水口などの障害物を回避しながら走行する必要がある(図3)。また、圃場は四角形の直線部だけでなく、湾曲している場合もある。そのため、2つの課題を解決しなければならない。

- ・障害物の回避
- ・圃場の形状に合わせた曲線部の走行



図3 圃場周辺部分の障害物の例
Fig. 3 Example of Obstacle Around the Field

3-3 自動運転特有の技術

田植機の機械的なレイアウト上、従来から抱えていた課題として下記2点がある。

- ・植え終わり時の無駄な苗の掻き取り改善
- ・発進時、停止時の肥料の供給ムラ改善

これら田植機が従来から抱えている課題を解決することができれば、熟練作業者でもできない自動運転ならではのオリジナル機能となる。

4. 開発技術

4-1 自動運転作業ルート作成

4.1.1 自動運転作業ルート

自動運転の作業ルートを作成する上で、圃場形状(圃場マップ)を取得する必要がある。圃場形状を取得するために、事前に圃場の形状に沿って走行することで精度の高い圃場形状の取得を行った。取得した圃場マップにより植え付けなければならないエリアの把握と、植付順序を決定して、無駄のない作業ルートを作成することが可能となった。しかしながら、従来の人が行う作業ルートでは、田植機を圃場端部のあぜ近傍まで走行させなければならず、無人で自動運転する場合には図3に示すようなあぜ際に存在する障害物に接触するリスクが高い。無人での自動運転の巡回領域を確保するため、図4のように圃場の内・外周エリアを2周する自動運転に適した新しい作業ルートに変更した。これによって、往復植付エリア、内周エリアまでは無人での自動運転を可能とした。外周エリアは障害物との接触リスクが残るため、有人乗車状態の自動運転として、圃場全面に対応した自動運転作業ルートを確立した。

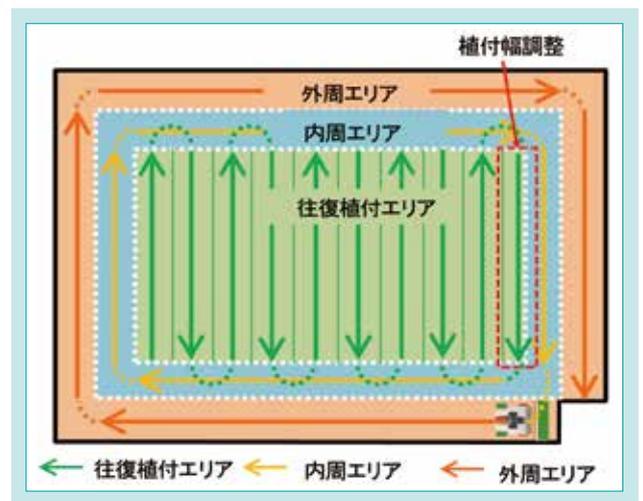


図4 自動運転作業ルート
Fig. 4 Working Route for Auto Driving.

4.1.2 隣接条間距離調整

また、往復植付エリアの最終工程(図4赤破線部)では、圃場内・外周エリア2周分を残して、苗の重なりなく、かつ植え残しが無いように、植付幅を調整することが必要になる。田植機には植付幅を調整するために、あぜぎわクラッチ機構が搭載されており、植付幅を2条単位60 cmで変更することが可能である。一般的にあぜぎわクラッチ機構を利用して、作業者は植付幅を調整している。熟練作業者であっても圃場の幅を目測で判断し、植付幅を調整する操作は難しく、経験と高度な技術が要求される。この難しい調整操作を無くすために、今回の自動運転の開発では事前に圃場マップデータから算出した最適な植付幅になるようにルートを作成し、自動であぜぎわクラッチの操作を行えるようにした。さらに、図5に示すように往復植付工程で隣り合う隣接条間の距離を苗の重なりをなくす方向に微調整する、「隣接条間距離調整機能」を合わせて開発した。この隣接条間距離調整機能によって、往復植付の最終工程の重なりを低減することができた。あぜぎわクラッチの自動操作、条間距離調整により、無駄のない植付を達成できた。これらの機能によって、未熟練者でも圃場マップさえあれ

ば苗補給作業と外周部の乗車のみで、圃場全面の植付作業を可能とした。

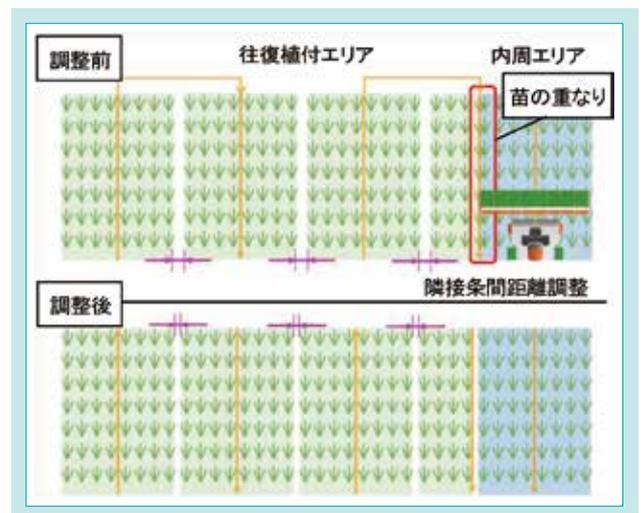


図5 隣接条間距離調整
Fig. 5 Function of Adjusting Distance of Adjacent Row

4-2 圃場外周部走行技術

圃場外周部の障害物との接触を回避、曲線部に沿って走行するために、圃場マップ取得時に走行した移動軌跡に倣って自動走行する方法を提案し、そのための「マップ作成技術」、「外周部倣い走行技術」の開発に取り組んだ。

4.2.1 マップ作成技術

まず圃場マップの作成として、圃場マップ作成時の移動軌跡を取得し、取得した点群データから外周部の走行経路を生成する。これにより、手で操作した取水口などを避ける動作や、あぜに沿った曲線部の動作を再現することができた。しかしながら、外周部の走行データ点は細かく取得したほうが精度よく走行できる一方で、手動の走行に倣いすぎるために直線部では植付跡に蛇行が見られた。そのため、障害物を回避する箇所では、取得する点群データを細かく取得し、直線部では点群データを間引いて取得する処理を追加した(図6)。この間引き処理によって、障害物や圃場の出っ張りなどは回避することができ、直線部はより直線的に走行可能なマップ作成技術を確立することができた。

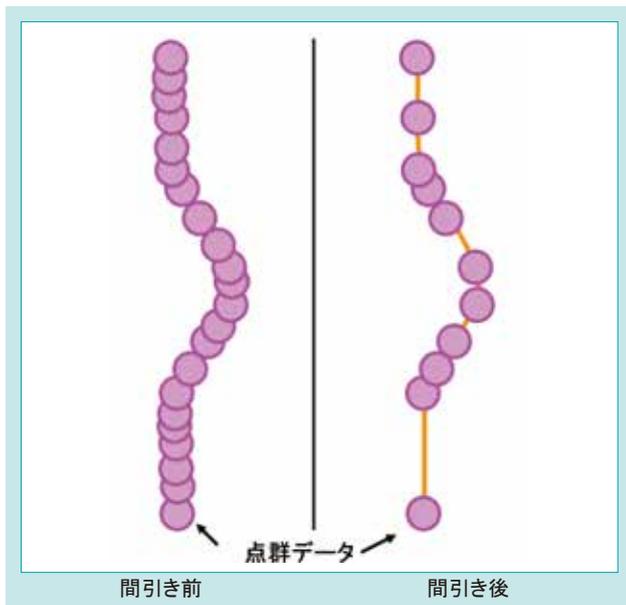


図6 点群データの間引き処理
Fig. 6 Smoothing Control of Point Data

4.2.2 外周部倣い走行技術

次に外周部倣い走行の精度向上にも取り組んだ。圃場外周部は直線部だけでなく、曲線箇所も多く存在する。そのため、曲線部の走行技術は圃場全面をキレイに植え付ける上でも重要になる。そこで、曲線部の走行制御は直進部の制御をベースとして動作させようと考えた。曲線部は直進の連続として解釈して自動走行させると、直線と直線の切り替わり部分で操舵が遅れてしまい、あぜの形状に滑らかに追従できなかったり、あぜに近づいたり離れたりする場面が発生

していた。そこで、図7に示すように現在の車両位置、次の直線との切り替わり点までの距離と、次の直線との方位から目標方位を線形的に変化させる独自の走行制御を開発した。この走行制御のパラメータを最適値に調整することによって、曲線部をより滑らかに走行することを可能とした制御を確立できた。点群データによるマップ作成技術と曲線部の走行制御技術の改良により、マップ作成時の移動軌跡に倣う高精度な走行制御を確立した。図8に示すように、実圃場においても圃場外周部で障害物と接触することなく、かつ熟練作業相当の曲線部の滑らかでキレイな植付跡を実現した。圃場外周部の走行技術の確立により圃場全面における自動運転への対応を完成させた。圃場外周部の走行を実現したことによって、マップ取得が可能な範囲で、自動化率の目標値を超えて99%を達成することができた。

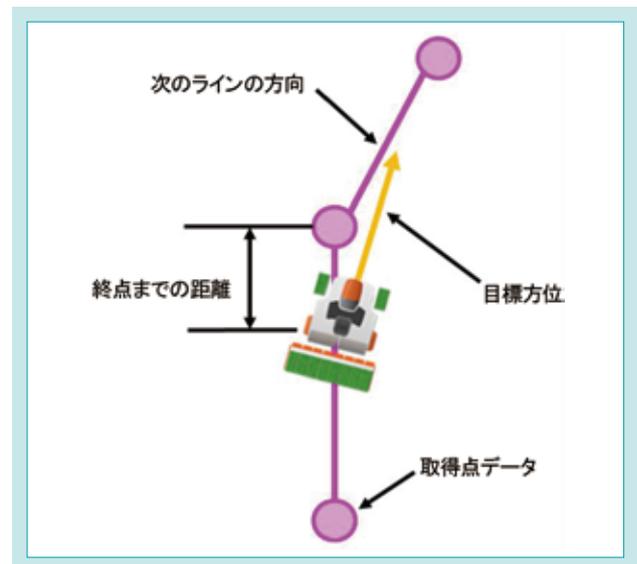


図7 目標方位角の概略
Fig. 7 Overview of Target Azimuth



図8 倣い走行による滑らかな植付作業
Fig. 8 Smooth Planting Work Using Trace Running

4 - 3 田植機従来の課題解決

4.3.1 無駄な苗の掻き取り改善

現行の田植機は植え終わりのタイミングで植付爪の位置によって、圃場に苗を植え付けしないで、無駄に掻き取ってしまう場面があった(図9(a))。そこで、自動運転機能付き田植機では、あらかじめ把握している作業ルートから、植え終わりのラインを調整して圃場内に苗を植え終わってから、次の走行ラインに移行する修正を加えた。苗の植え終わりのタイミングを無駄な掻き取り苗が出ないように調整することは、困難であり、熟練作業者でも実現不可能な無駄のない仕上がりを可能にした(図9(b))。これによって無駄な苗の掻き取り消費も低減させることができた。

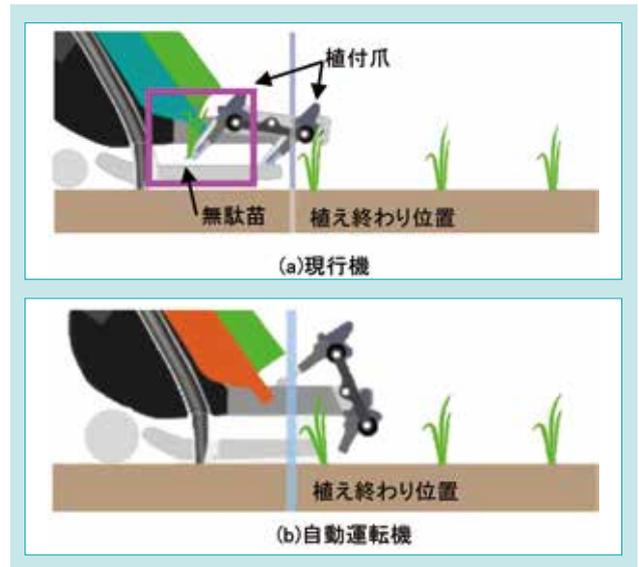


図 9 苗の掻き取り改善
Fig. 9 Improvement of Scraping of Seedling

4.3.2 肥料供給ムラ改善

田植機は苗を植えるだけでなく、肥料も同時に撒く機種もある。苗に対しての肥料の供給は、機体中央部に搭載された施肥機とよばれる繰り出し装置から肥料を繰り出し、施肥ホースを通過して、苗の近傍に供給する機構で行っている(図10)。施肥機の搭載位置が車体の中央部にあるため、肥料が苗の近傍に到達するまでには時間差が発生する。そのため、図11(a) 現行機に示すように植え始めでは肥料の供給が遅れ、植え終わりでは肥料を多く供給してしまう場合があり、苗に対して肥料の供給ムラが発生していた。一方で自動運転の場合あらかじめ、植え始め位置、植え終わり位置を把握しているため、繰出の時間差を考慮し、発進時は肥料を先に出す、停止時は肥料を先に停止する機能を搭載した。図11(b)自動運転機に示すように植える苗に対して、肥料をピンポイントで供給することで、肥料ムラをなくすことが可能になった。自動運転特有の技術を開発することにより田植機が従来抱えていた課題を解決し、熟練作業者を超える田植えを実現した。肥料の供給ムラを抑えることで、生育ムラをなくして、作物の品質向上も実現することができた。

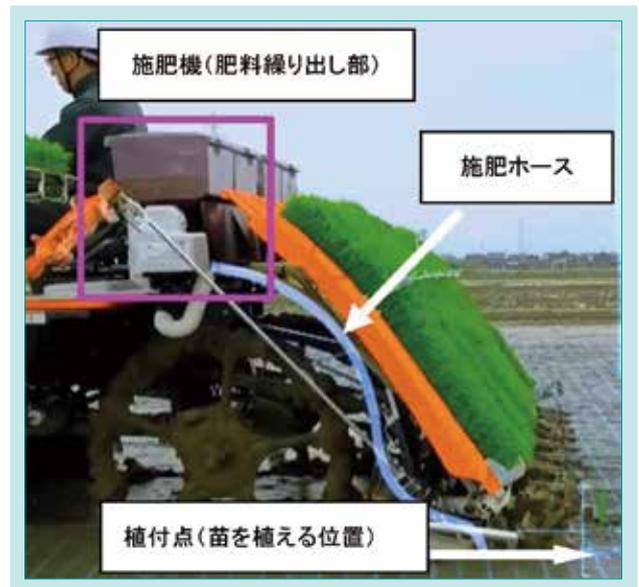


図 10 施肥機搭載位置
Fig. 10 Mounted Location at Fertilizer Machine

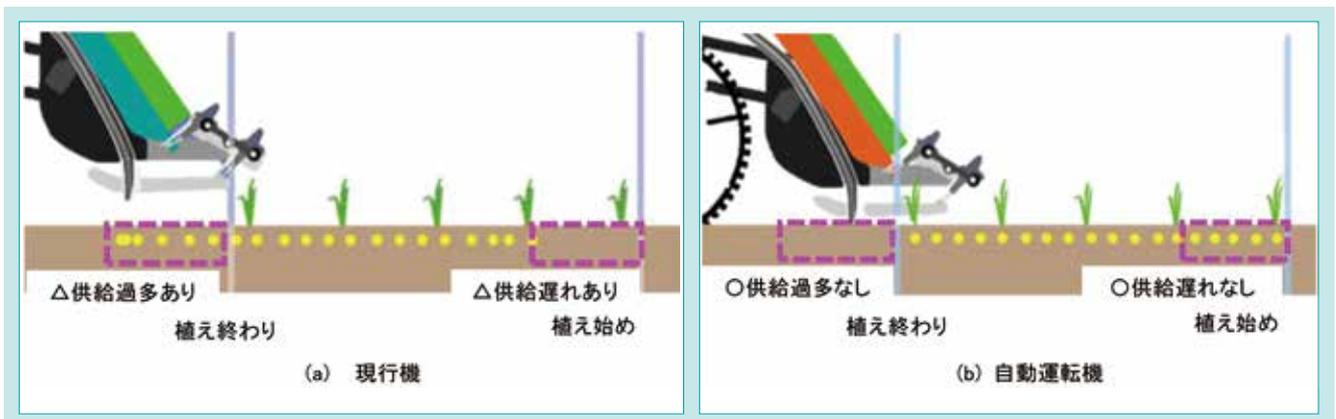


図 11 肥料供給ムラ改善
Fig.11 Improvement of Supplying to Fertilizer

5. おわりに

業界初圃場全面の自動運転に対応した自動運転機能付き田植機を2020年に市場導入することができた。図12のように複雑な形状の圃場の場合、熟練作業者でも操作が難しい。このような複雑な形状の圃場であっても自動運転の作業ルートを作成することができ、未熟練者が操縦しても圃場全面を熟練作業者以上の仕上がりで植え付けることが可能になった。その結果、ユーザからも省人化につながるといった意見や、熟練作業者相当の動きであるといった高い評価を頂き、開発コンセプトである「田植え作業

に慣れていない人でも簡単にストレスなく圃場全面をキレイに植えられること」を達成できた。本開発で得た技術をベースとして、さらなる作業効率の改善に向けた新たな自動運転の機能開発を狙う。また、走行部だけでなく、圃場の条件に合わせて植付部などを自動調整する機能についても今後展開していく。このように、自動運転の技術をさらに発展させていくことで、日本の農業に貢献できるように取り組んでいく。

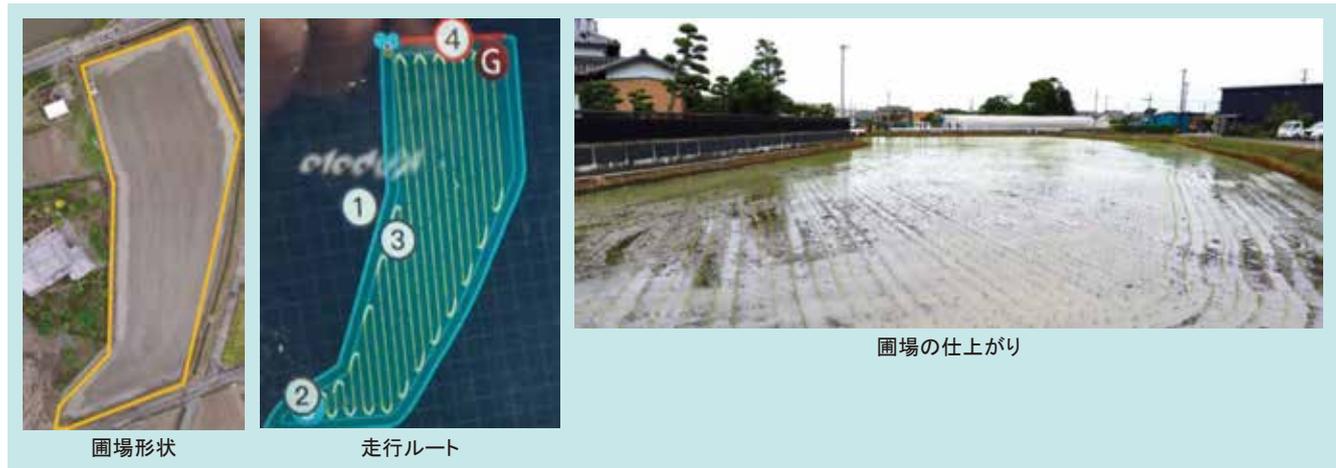


図 12 変形圃場への自動運転対応結果
Fig.12 Result of Automatic Operation for Deformed Field

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 自動運転による省人化により生産性向上に貢献
- 2.4 持続可能かつ強靱な農業の実現 田植え作業時の苗・肥料などの資材消費量低減に貢献
- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 自動化率向上による田植え作業時間の削減

参考文献

- 1) 農林水産省:食料・農業・農村をめぐる情勢の変化(令和4年11月)

電子制御小型ディーゼルエンジンD902-Kの開発

Development of the Electrically Controlled Small Diesel Engine D902-K

エンジン技術第一部

NSMシリーズは、独自の燃焼方式E-TVCSをブラッシュアップすることで高出力密度と高い環境性能を両立し、搭載製品の競争力強化に貢献している。近年では、排出ガス規制の強化に加えて、CO₂低減のニーズが高まっている。この低エミッション化、低CO₂化の両立を実現するため、燃料噴射方式を現行のメカ式から電子制御式へ一新する。また、電子制御式に最適な燃焼室形状を設計することで新燃焼方式TVCRを確立し、それを搭載したD902-Kを開発した。本稿では、このTVCRに最適な燃焼室形状の開発と、現行機同等の搭載互換性を堅持したアプローチについて述べる。

【キーワード】

D902、IDI燃焼、TVCR、小径シリンダボア、体格小型化、電子制御化

The NSM series engine, which has high power density and high environmental performance by improving its unique combustion system, E-TVCS, to achieve both high power density and high environmental performance, contributes to the increased competitiveness of this machine. In recent years, in addition to strictly exhaust gas regulations, the need for CO₂ reduction has increased. In order to achieve both lower emissions and lower CO₂, we have developed the new combustion system, TVCR by changing from the current mechanical fuel injection system to electrical fuel injection system and designing the optimal combustion chamber shape. This article describes the development of the optimal combustion chamber shape for TVCR and an approach that maintains installation compatibility equivalent to that of current models.

【Key Word】

D902, IDI Combustion, TVCR, Small Cylinder Bore, Compactness, Electronic Control

関連する SDGs



1. はじめに

クボタの農建機やOEMの産業機械に幅広く搭載されているNSMシリーズのエンジンは、独自の燃焼方式E-TVCS(Three Vortex Combustion System)をブラッシュアップすることで高出力密度と高い環境性能を両立し、搭載製品の競争力強化に貢献している。

出力19 kW未満の小排気量エンジンにおいて、欧米を始めグローバルに排出ガス規制の強化が進んでいる。欧州では2019年よりSTAGE V規制が施行され、中国では2022年に国家4次規制

が施行されている。特に中国の都市部では、エンジン単体の排出ガス規制だけでなく、搭載製品を対象として可視スモークレスを要求する厳しいスモーク規制も施行されている。さらに近年、米国CARB(California Air Resources Board)では次期排出ガス規制Tier5の検討が開始され、将来、さらなる排出ガス規制の強化が見込まれている。一方で、各国の中長期的なCO₂削減目標達成のため、全世界的にカーボンニュートラルに向けた低CO₂化ニーズが高まっている。そのため、エンジンの燃費向上による使用燃料

の削減が重要となる。グローバルな排出ガス規制への適合と低燃費化を高次元で両立することで、カーボンニュートラルへの貢

献と製品競争力向上に繋げられる。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

これまで磨き上げてきたクボタ独自の燃焼方式E-TVCSをベースに、次の2つの開発コンセプトを設定した。

- 1) 各国排出ガス規制への適合と低燃費化に加え、作業性、作業環境性でメカ式噴射系エンジンでは実現できない領域

域まで引き上げるエンジンを開発する。

- 2) 現行機D902との搭載互換性を堅持し、投資抑制に貢献できるエンジンを開発する。

2-2 開発目標

開発エンジンの仕様を表1、外観図を図1に示す。開発目標は、次の4点を設定する。小型排気量帯のエンジンに最適な燃焼方式を確立することで、低燃費と低エミッションを高次元で両立する。

1. 5%以上の低燃費化
2. 19 kW未満のグローバルな排出ガス規制への適合(北米EPA Tier4、欧州Stage V、中国国家4次(都市部スモーク規制を含む)、特自規制)
3. 現行機D902との搭載互換性の堅持
4. 負荷応答性、および作業性の向上

表1 開発エンジン仕様
Table 1 Engine Specification

モデル	D902(現行機)	D902-K(開発機)
燃焼方式	IDI (Indirect Injection)	
燃料噴射方式	メカ式制御	電子制御
気筒数	3	
ボア×ストローク(mm)	φ72×73.6	
排気量(L)	0.898	
長さ×幅×高さ(mm)	453×425×544	
定格出力(kW/rpm)	18.5/3600	



図1 D902-K
Fig. 1 D902-K

3. 解決すべき技術課題

3-1 小型エンジンに最適な電子制御燃料噴射システムの採用とE-TVCS燃焼方式のレベルアップ

19 kW未満の小型ディーゼルエンジンはメカ式噴射制御が主流となっており、これまで排出ガス規制適合を最優先に性能改善を進めてきた。メカ式噴射制御の場合、設計段階で機構的に燃料噴射量や噴射タイミングが決まるため、各回転で噴射量や噴射タイミングを最適化することが難しい。そのため、開発コンセプトのグローバルな排出ガス規制へ適合しつつ、低燃費を実現することが困難となる。一方、電子制御エンジンの場合、運転状況に応じて燃料噴射量や噴射タイミングを制御することができる。上位機種となる大型エンジンでは、一般的に燃料噴射圧力が160MPa以上の高圧コ

モンレールシステムが採用されており、厳しい排出ガス規制への適合と低CO₂化を実現している。しかしながら、小型エンジンにおいては、燃焼方式の違いや、小ボア径であることから、同システムの採用は一般的に難しい。そのため、噴射制御自由度を高め、各回転で緻密な燃料噴射制御による最適な燃焼制御を実現していくためには、「IDI燃焼方式を採用する小型エンジンに最適な電子制御燃料噴射システム」が必要となる。その上で、各国排出ガス規制への適合と低CO₂化の両立に向けて、新たな電子制御燃料噴射システムに最適な燃焼系部品の開発が必要となる。

3-2 エンジンの電子制御化と搭載互換性堅持の両立

電子制御燃料噴射システムでは、燃料を一定圧に調圧するコモンレール形状のホルダ、アッシが必要となる(図2)。そのため、従来のようにサブライポンプ、噴射管、インジェクタ

の構成に加え、電子制御エンジンでは、ホルダ、アッシをコンパクトに搭載設計する必要がある。また燃料噴射を電子制御化するためには、エンジン回転数を検出する回転センサ

(以下NEセンサ)、位相を検出する位相検出センサ(以下Gセンサ)、並びに検知体となるパルスギヤの追加が必要となる(図2)。上位機種では、既にパルスギヤのギヤケース内蔵化を実現しているが、今回の開発機種で同様に対応する場合、

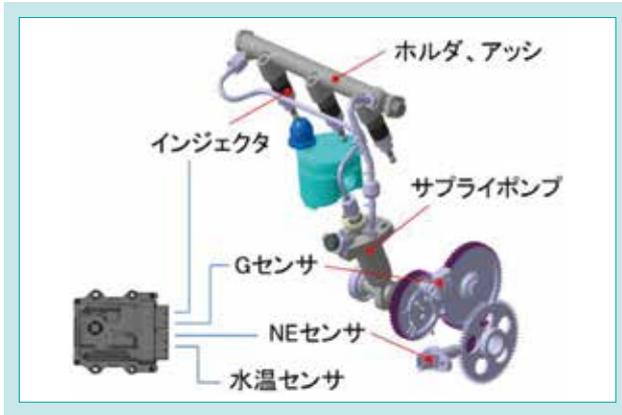


図2 電子制御燃料噴射システムの構成
Fig. 2 Electrical Fuel Injection System Configuration

図3のように、エンジンパッケージサイズの大型化を引き起こす。現行量産機と同等の体格を堅持し、ドロップインで搭載替えを実現していくためには、新規部品の追加による体格の大型化を抑制する設計のレイアウト検討が必要となる。

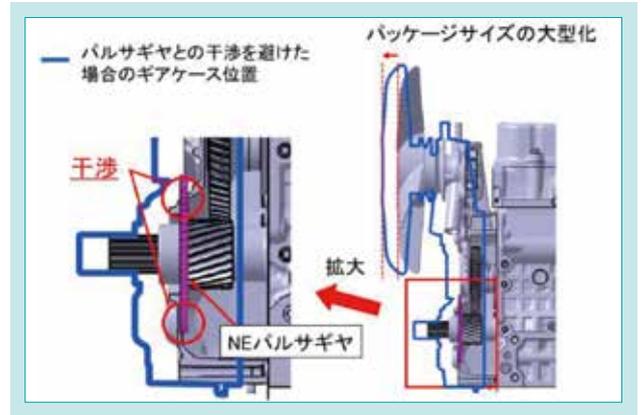


図3 パルスギヤの搭載性
Fig. 3 Mountability of Pulsar Gear

4. 開発技術

4-1 各国排出ガス規制への適合と低燃費の両立に向けた燃焼改善技術

4.1.1 小型エンジンに最適な電子燃料噴射システムの採用

図4に現行機D902のインジェクタと大型エンジンで採用されているCRS(Common Rail System)のインジェクタを示す。CRSのインジェクタは、現行のIDIエンジンで使用されているインジェクタと比較して約2.5倍大きく、噴射圧も高圧となっているため、小ボア径の小型エンジンで使用することはできない。そこで、現行機D902を電子制御化するために、CRSのインジェクタの流用ではなく、IDIエンジンに適したコンパクト性を維持しつつ、CRSより低圧噴射を可能とする電子制御インジェクタ¹⁾を採用した。これにより、現行機のインジェクタ組付けスペースと同等レベルでのエンジン組付けを可能にした。

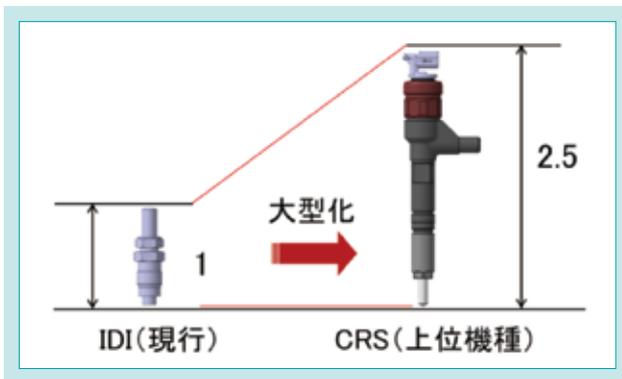


図4 インジェクタの比較
Fig. 4 Injector Comparison

一方、インジェクタを電子制御化することで、従来のメカ式噴射システムと比較して噴射特性が異なる。図5の現行機と開発機の噴射率波形の比較より、電子制御インジェクタの噴射率波形は、噴射を電氣的に制御することから、矩形となっている。電子制御インジェクタの噴射率波形は、初期噴射から噴射終わりまで一定の噴射率を維持するため、初期噴射区間と噴射後半で現行機のインジェクタより高くなっている。そのため、電子制御インジェクタに最適な燃焼室形状の検討が必要となる。燃焼室形状の検討詳細は、次項にて述べる。

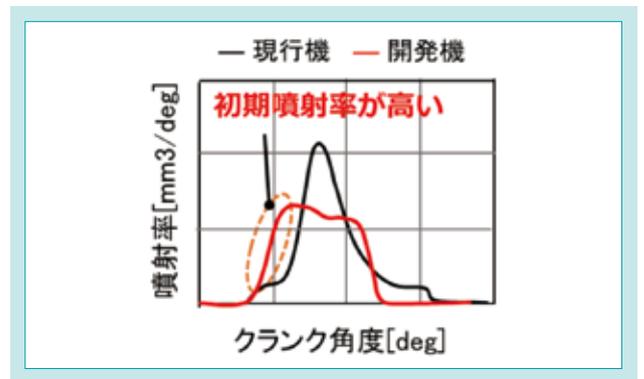


図5 噴射率の比較
Fig. 5 Comparison of Injection Rates

4.1.2 新燃焼方式TVCRの確立

前項で述べた通り、電子制御インジェクタを使用し、最適な燃焼を得るためには、燃焼室形状を最適化する必要がある。

IDI燃焼の燃焼室は、図6に示す通り主室と副室の2つに分かれており、副室ですべて自己着火した燃焼ガスは副室と主室

の連絡口(口金噴口)を通して主室に流れ、主室で燃焼を完了する2段燃焼となる。²⁾ 燃焼改善に向けては副室内の燃料と空気の混合が重要となる。特に電子制御インジェクタは初期から高い噴射率となることから、副室内の渦流の強化が必要となる。一般的に、副室内の渦流を強くするためには、口金噴口の断面積を小さくすることが効果的となる。一方、燃費改善にむけては、副室内の口金噴口の絞りによる圧力損失低減が必要となるため、副室を有するIDI燃焼方式においてはPMやスモークの低減と燃費低減はトレードオフの関係となる。口金噴口の圧力損失と副室内の平均角速度の関係が、エンジン性能に与える影響のイメージを図7に示す。今回の開発では、このトレードオフ関係のブレークスルーを狙って、口金噴口の形状最適化に取り組む。

流体解析により副室内の渦流動はタンブル流が支配的であることがわかっている。また、口金噴口においては、図8に示す副噴口から遠ざかるほど平均角速度が低くなっていることを確認している。このことから、副噴口から副室内に流入する渦流は、副室内の燃料と空気の混合への影響度は低いと考えられる。そこで、主噴口で渦流を強化し、副噴口のサイズで圧力損失低減を図る形状を検討した。図9の流体解析におけるD902-Kの流速コンター図より、口金形状の変更によって、噴口面積は現行機と同等で、D902-Kの角速度はD902よりも向上していることが分かる。

口金の噴口形状を最適化した仕様を組み込み、エンジン性能を確認した結果、開発機D902-Kは、現行のD902に対して、5%以上の燃費低減、最大トルク点で20pt以上のスモーク低減を実現し、全域で可視スモークレスを達成した(図10)。

以上により、小型エンジンに最適な電子制御インジェクタを選定し、その電子制御インジェクタに最適な口金噴口を適用することでE-TVCSのブラッシュアップを実現し、新燃焼方式TVCRを確立した。

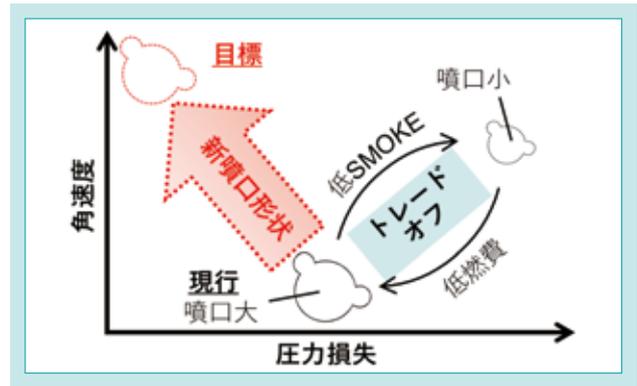


図7 噴口形状による解析結果と実機結果の相関関係
Fig. 7 Relationship Between Analysis Results and Actual Machine Results Based on Throat Shape

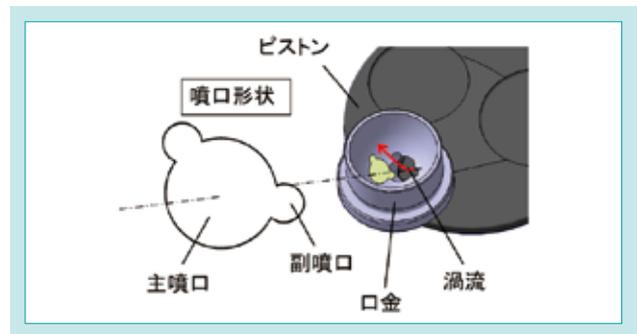


図8 口金噴口の断面図
Fig. 8 Cross-sectional View of Throat Shape

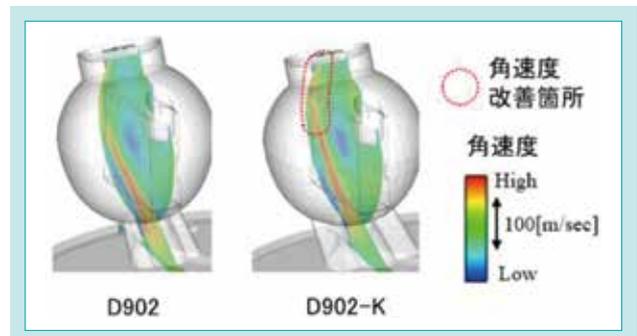


図9 燃焼室内の流体解析結果(主噴口部)
Fig. 9 Fluid Analysis Results Inside the Combustion

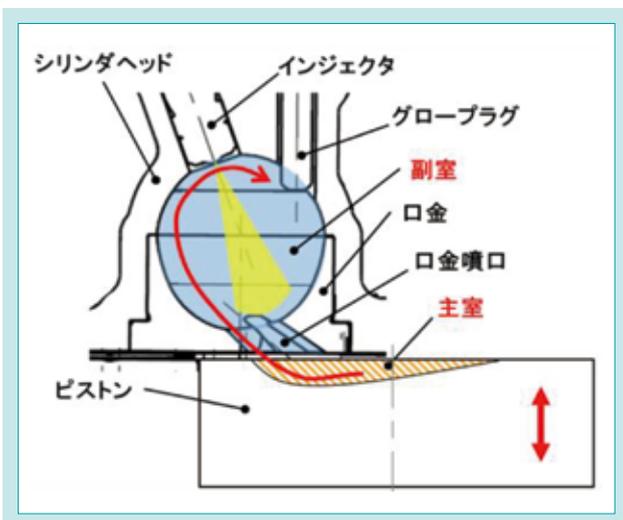


図6 IDI 燃焼方式の燃焼室
Fig. 6 Combustion Chamber of IDI Combustion System

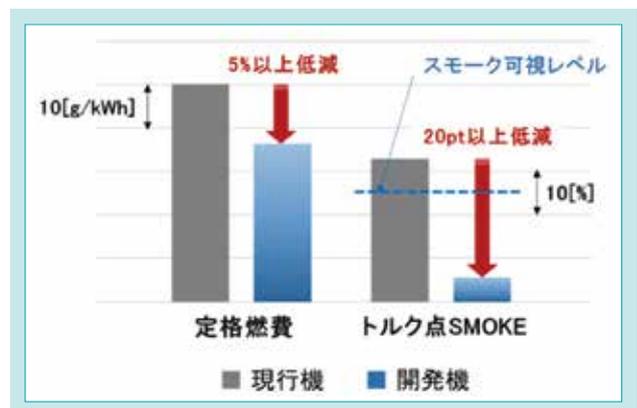


図10 エンジン性能比較
Fig. 10 Engine Performance Comparison

4-2 搭載互換性を堅持するコンパクトな搭載設計

4.2.1 インジェクタホルダ搭載レイアウト

電子制御エンジンでは燃料を一定圧に調圧するコモンレールと同形状のホルダ、アッシの搭載設計が重要となる。インジェクタに直接ホルダ、アッシを組付ける構造を採用することにより、搭載時の高さを抑制するだけでなく、ホルダ、アッシとインジェクタ間に必要となる噴射管をなくし、部品点数の削減を実現した。またホルダ、アッシは、新設計のホルダブラケットを介してシリンダヘッドと固定する構造を採用したことで、3本のインジェクタの固定並びに位置決め機能を同時に持たせることに成功し、高さ方向のパッケージサイズで現行機と同等を実現した(図11)。シリンダヘッドのサイズを現行機と同等としたことで、現在の加工ラインを流用することができ、設備投資抑制に貢献した。

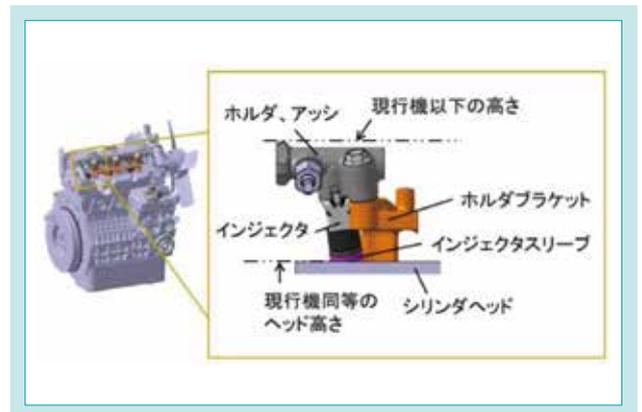


図 11 インジェクタの支持構造

Fig. 11 Injector Support Structure System

4.2.2 パルスギヤの内蔵化

エンジンの電子制御化に伴い、回転検出、位相検出が必要となり、それぞれギヤとセンサの取り付けが必要となる。農機、建産機等、色々なアプリケーションで使用されることを想定して、パルスギヤはギヤケースに内蔵した。そのため、ファン側にスペースの確保が必要となるが、ファンを外側に移動するとラジエータの搭載位置を変更する必要があり、製品への搭載インパクトが大きくなる。そこで、エンジンサイズ

を同等にするため、メカ式エンジンで採用していたガバナ部品を削除したスペースを有効活用すると共に、オイルポンプを薄幅化する改善に取り組んだことで、ギヤ位置を8mmクランクケース側に近づけた(図12)。これにより、パルスギヤを最小径で設計したことで、現行機同等のエンジンサイズに抑え、搭載互換性堅持を実現した(図13)。

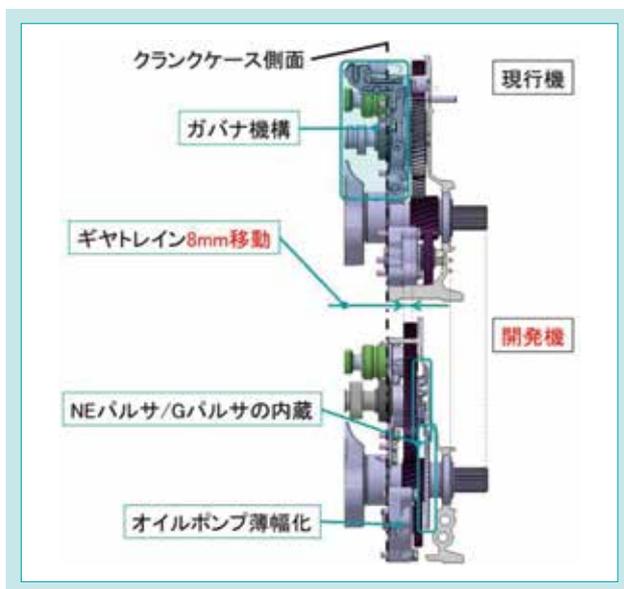


図 12 パルスギヤの配置

Fig. 12 Layout of Pulsar Gear

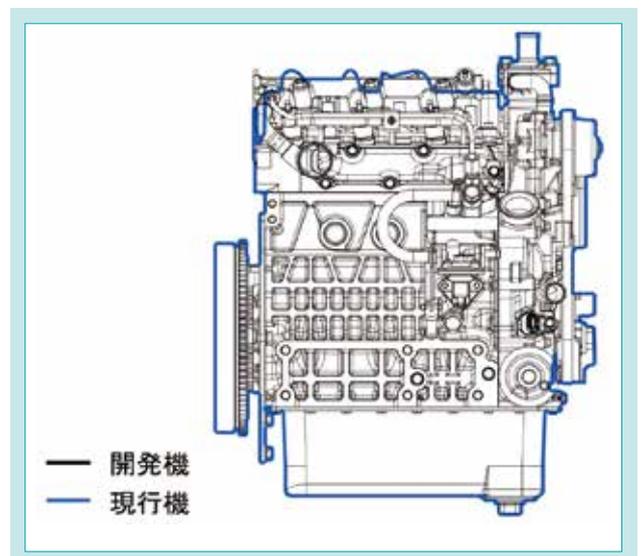


図 13 開発機と現行機のエンジンサイズ比較

Fig. 13 Comparison of Engine Size Between the Developed Machine and the Current Machine

4-3 電子制御化による負荷応答性、パワーカーブの設計自由度向上

燃料噴射を電子制御化することで、負荷応答性の改善に取り組んだ。図14は急負荷が発生した状況を想定した負荷応答性の評価を行った結果を示す。現行機(黒線)に対し、開発機D902-Kは回転ドロップを抑制しつつ、スモークの発生も見

えないレベルに抑えていることがわかる。これにより、本エンジンを搭載したアプリケーションが、掘削や芝刈り圃場内で作業中に急負荷が発生したときの回転ドロップを抑制し早期復帰ができる。

図15にエンジン出力カーブとトルクカーブを示す。電子制御インジェクタの採用により燃料噴射の自由度が高まったことからパワーカーブの設計自由度も向上している。そのため、中高速域でトルクアップさせ、定格付近で出力フラット領域の広回転域化を実現している。さらに、電子制御化によりアイソクロナス制御の選択が可能となり、負荷に対して一定回転を維持した作業を可能にした(図16)。

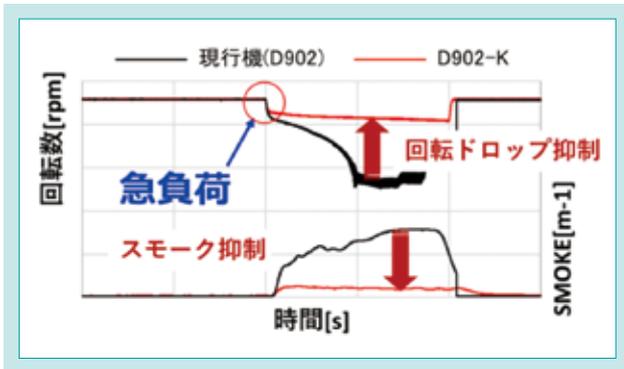


図 14 急負荷時のエンジン挙動
Fig. 14 Engine Behavior Under Sudden Load

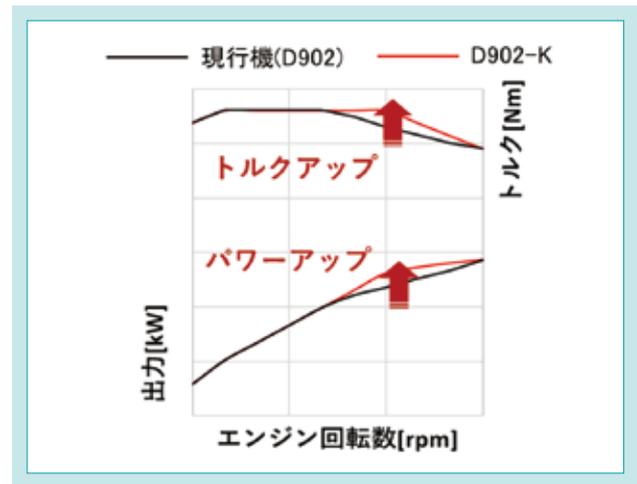


図 15 出力カーブとトルクカーブ
Fig. 15 Output Curve and Torque Curve

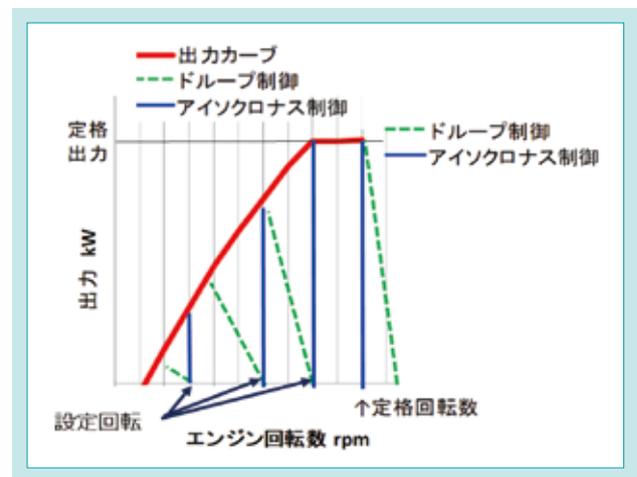


図 16 アイソクロナス制御とドループ制御
Fig. 16 Isochronous Control and Droop Control

5. おわりに

小型ディーゼルエンジンに最適な電子制御燃料噴射システムを採用し、それに応じてE-TVCSをブラッシュアップしたことで新燃焼方式TVCRを確立することができた。それにより、現行機では実現できなかった低燃費、低エミッションを高次元で両立し、CO₂低減に貢献した。

また、インジェクタ、センサ、パルサギヤ等の新規部品をコンパクトに搭載設計したことにより、エンジンのパッケージサイズで現

行量産機と同等の体格に抑え、搭載互換性を堅持した。

今後、本開発で得られた成果を19kW未満の他機種に水平展開しラインナップ拡充を図ることで、さらなる製品競争力強化に繋げていく。それにより、エンジンの事業拡大に貢献すると共に、低エミッション、低CO₂化を両立する高い環境性能を有するエンジンの開発を通してSDGsに貢献していく。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 現行機に比べ燃料消費率5%以上低減を実現

9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善 TVCR開発によるスモーク低減の実現

参考文献

- 1) K. Fujita, H. Mochizuki, Y. Kobayashi, T. Onishi "Development of the Electrically Controlled Off-road Small Diesel Engine Below 19kW" SAE 2023-01-1844
- 2) 堀田義博、中北清己、他、「渦流室式ディーゼル機関の燃焼改善による排気浄化」豊田中央研究所R&DレビューVol.32 NO.4(1997.12)

3tミニバックホー U-30/35-6α シリーズの油圧システム開発

Development of Hydraulic System for 3-Ton Class Mini Excavator “U-30/35-6α Series”

建設機械基礎技術部／建設機械技術第一部

3-3.5tクラスミニバックホーはクボタ建設機械の主力製品であり、世界中に出荷されている。中でも国内向けU-30/35シリーズは主力機種であるが、排出ガス規制対応によるエンジン出力低下の影響から作業能力向上を求める声が出ていた。また近年、環境問題への対応から省エネ化が求められている。さらに現場における未熟なオペレータの増加から、操作性を向上することも求められている。U-30/35-6α シリーズでは、これらの課題を解決すべく、油圧システムの新規開発を行った。1ポンプロードセンシングシステムに旋回優先回路を新たに追加することで、作業能力向上、省エネ化、操作性向上を同時に達成した。

【キーワード】

ミニバックホー、ロードセンシング、旋回優先回路

The 3-3.5-ton class mini excavators are crucial conventional products shipped worldwide. The mini excavator U-30/35 series, is a main model, especially for Japanese market; however, there has been growing discontent at its work capacity due to its decreasing engine output with emission regulations. Recently, excavators are required to comply with energy-saving regulations to protect the environment. In addition, excavators are required to improve operability due to the increasing number of poor operators. To address these problems, we have developed a novel hydraulic system for the mini excavator U-30/35-6a series. We have achieved energy conservation, including improved work capacity and operability, by adopting a 1-pump load sensing (1pLS) system with a swivel priority circuit.

【Key Word】

Mini Excavator, Load Sensing, Swivel Priority Circuit

関連する SDGs



1. はじめに

クボタ建設機械事業において、3-3.5tクラスミニバックホーは主力製品であり、日本、欧州、北米豪、中国、タイ、インド等、世界中に出荷されている。また日本市場において2.5-3.5tクラスの後方小旋回機は国内総需要の約30%を占めており、競争の激しいクラス帯である¹⁾(図1)。

クボタの3-3.5tクラス後方小旋回機であるU-30/35シリーズは、2015年に国内排出ガス規制対応及び吊上力・掘削力等の基本性能の向上を行ったフルモデルチェンジ機U-30-6シリーズを市場に投入し、主力機種となっている。

しかし、排出ガス規制によるエンジン出力低下の影響から作業能力向上を求める声が出ていた。また、近年、環境問題への対応から企業には排出ガス規制対応に加えてさらなる省エネ化が求められている。さらに現場での熟練工の減少に伴い、未熟なオペレータが増加していることから、機械の操作性を向上することも求められている。

U-30/35-6α シリーズでは、これらの課題を解決すべく、油圧システムの新規開発を行った(図2)。

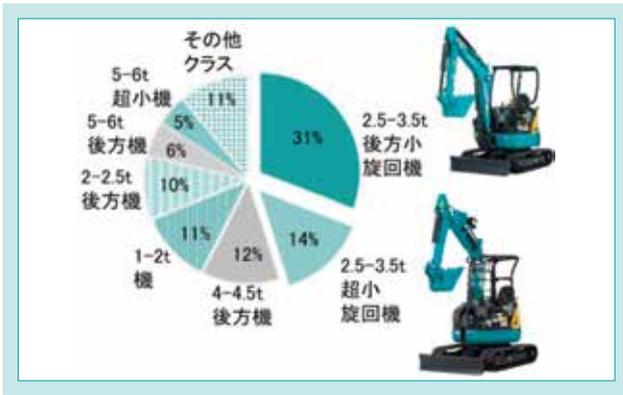


図1 ミニバックホー国内需要 (2021年)
Fig. 1 Japanese Demand of Mini Excavator (2021)



図2 3tクラス後方小旋回機 U-30-6 α
Fig. 2 3-Ton Class Tight Tail Swing Excavator U-30-6 α

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

本開発では以下2点をコンセプトとして油圧システム開発を進めた。

(1) 省エネ化と作業能力向上の両立

エンジンの出力を効率よく作業機に配分できる油圧システムを選定することで、排出ガス規制対応によるエンジン出力低下を感じさせない作業能力を確保し、省エネ化との両立を図る。

(2) 操作性向上

各作業機への設定流量を最適化することでバランスのいい機械とし、さらに同時操作時の速度変化を低減することで操作性向上を図り、未熟なオペレータにも扱いやすい機械を目指す。

2-2 目標値

上記開発コンセプトから、省エネ、作業能力、操作性の項目において下記の目標値を設定することとした。

(1) 省エネ

従来機U-30-6シリーズに対して10%の省エネ化

(2) 作業能力

作業能力を排出ガス規制対応前の旧型機U-30-5シリーズ同等以上

(3) 操作性

誰にでも扱いやすい滑らかな操作性

3. 解決すべき技術課題

3-1 省エネ化と作業能力向上のための油圧システム選定

クボタミニバックホーにおける油圧システムは、従来機であるU-30-6に採用されているオープンセンタ(以下OPEN)システムと4t以上の機種で主に採用されているクローズドセンタロードセンシング(以下LS)システムの2種類がある。以下にそれぞれのシステムの特徴を説明する。

(1) OPENシステム

OPENシステムは3つのポンプが各作業機にそれぞれ独立に構成されている(図3)。このため、ポンプが独立して

いるアクチュエータ同士を同時操作する際、例えばブーム+旋回複合操作では、それぞれの負荷影響を受けないため、操作性が良いシステムである。特に旋回は固定容量のギヤポンプを採用しており、速度が安定している。

一方で、各作業機の速度は各々のポンプの最大流量によって制限されてしまうため、理想の速度に対して速度設定に制限がある。このため、最適なバランスで作業速度の設定を行うことが難しい。

また、作業機の作動有無に関わらず、ポンプの流量は常に一定(最大)に固定されており、不要な流量をバルブでタンクに戻している。このため、無駄なエネルギーが消費されており、効率的なシステムではない。

(2)LSシステム

ここでは最もシンプルな1ポンプLS(以下1pLS)システムについて説明する(図4)。1pLSシステムでは、システム全体が1つの大容量ポンプで構成されており、各セクションに圧力補償弁を設けることで安定した分流性能を確保している。1つのポンプですべての作業機を作動させるため、作業機毎に流量設定の自由度が高く、最適なバランスで作業速度の設定を行うことができる。

また本システムでは常にポンプの流量を制御し、作業量に応じて必要流量のみを吐出するため、無駄が少なく効率的なシステムである。

(3)油圧システム選定

従来機U-30-6シリーズではOPENシステムを採用していたが、本開発では、省エネ化と作業能力向上の両立、操作性向上のため、1pLSシステムを採用することとした。

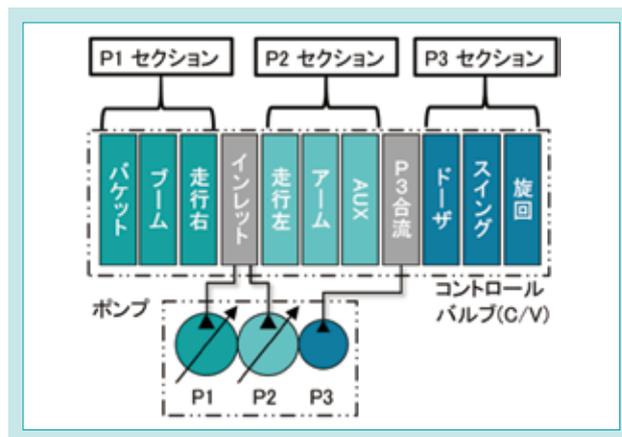


図3 OPENシステム
Fig. 3 OPEN System

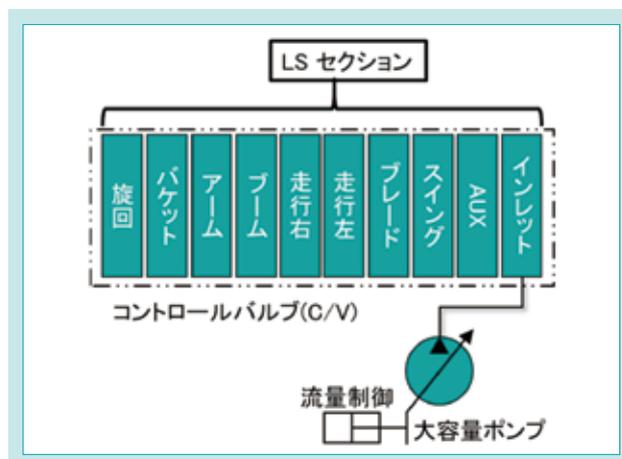


図4 1pLSシステム
Fig. 4 1pLS System

3-2 1pLSシステム採用時の課題

油圧システムに1pLSを採用した時の課題について述べる。ブームと旋回を同時に操作する際、ブームが最上げ状態に達してリリーフ状態になると、旋回速度が急激に低下してしまう。このため、実作業で土砂のダンプ積み等を行う際に、ブームが最上げ状態になると旋回速度変化でバケットの土こぼれが発生してしまう(図5)。以下にこの問題の発生メカニズムについて述べる。

1pLSシステムではポンプの独立性がないため、同時操作でセクション毎に負荷圧の差が発生した際に、安定して分流制御を行えるよう、各セクションに圧力補償弁を設けている(図6)。この圧力補償弁は、負荷の低い側のセクションのみ疑似負荷を発生するように絞り量を調整する可変絞り弁である。これにより、負荷の異なる作業機を同時操作した際においても各セクションにおける見かけ上の負荷圧が均等になり、負荷圧に影響されることなく、安定した分流制御が可能となる。



図5 ブーム上げ+旋回 同時操作
Fig. 5 Simultaneous Operation of Boom Up and Swivel

一方で、ポンプには、負荷が増加した際にエンジンのトルクを上回らないよう最大流量を制限する馬力制御機能があるため、作業機の負荷が増加すると、馬力制御によりポンプの吐出流量が減少し、作業機の要求流量に対してポンプの流量が不足する。この場合、1pLSシステムではセクション毎に流量が均等に分配されるため、単独操作時より速度が低下してしまう。さらに一方の作業機がリリース状態になると、馬力制御によりポンプの最大流量が大きく減少するため、もう一方の作業機の速度低下が大きくなる。特に、操作性に敏感な旋回速度低下が問題となった。

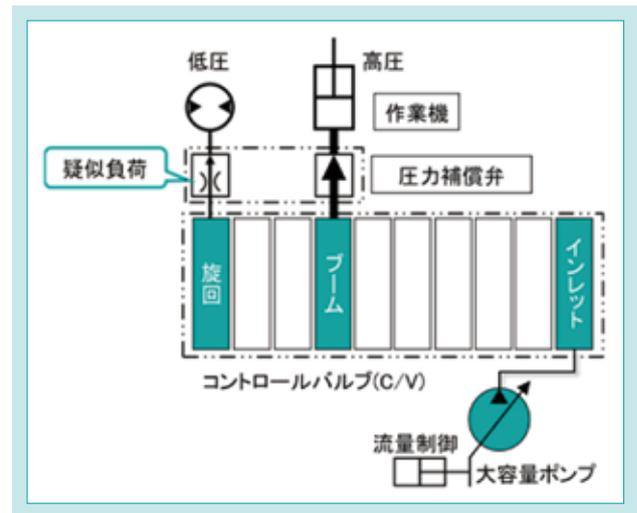


図6 1pLSシステム圧力補償弁モデル
Fig. 6 1pLS System Pressure Compensated Model

4. 開発技術

4-1 油圧システム変更による省エネ効果と作業能力向上効果

油圧システムをOPENシステムから1pLSシステムに変更したことによる省エネ効果及び、作業能力向上効果の確認を行った。今回の測定では、燃料消費量の計測精度向上のため、独自の計測方法を実施した。機械の燃料タンクがほぼ空になり、一度エンストさせた状態で燃料を20 L補給し、掘削・埋め戻し・整地作業を連続稼働して、再びエンストするまでの稼働時間を測定した。作業量はバックホーの代表的な操作である水平均し(ならし)と模擬掘削の時間当たりのサイクル数を測定し、稼働時間と併せて省エネ効果を評価した。また、単位時間あたりのサイクル数は作業能力評価にも使用した(表1)。

開発機U-30-6αでは連続稼働時間が従来機に対して約10%長くなっており、作業量に相当する水平均し操作回数・模擬掘削操作回数も従来機U-30-6を上回っていることから、増加比率を掛け合わせると省エネ効果は10%以上であった。

また作業能力に関しても排出ガス規制前の旧型機U-30-5と同等以上であった(表2)。

表1 稼働時間・作業量比較 (U-30-6 α、U-30-6)
Table 1 Comparison of Operating Time and Cycle Number

項目	U-30-6 α	U-30-6	比
油圧システム	1pLS	OPEN	-
稼働時間	4.90 hr	4.46 hr	110%
均し操作回数	1021 cycle/hr	992 cycle/hr	103%
模擬掘削操作回数	391 cycle/hr	385 cycle/hr	102%

表2 作業量比較 (U-30-6 α、U-30-5)
Table 2 Comparison of Cycle Number

項目	U-30-6 α	U-30-5	比
油圧システム	1pLS	OPEN	-
均し操作回数	1021 cycle/hr	973 cycle/hr	105%
模擬掘削操作回数	391 cycle/hr	390 cycle/hr	100%

4-2 新油圧システムの開発

4.2.1 旋回優先回路

前項で述べた1pLSシステムの複合操作時における旋回速度変化を低減するための既存技術として、ポンプ追加、プライオリティバルブ追加等が挙げられる。しかしながら、3tクラスのミニバックホーにこれらを搭載することは、コスト面および搭載面で難しい。そこで新技術として「旋回優先回路」を

開発した。この「旋回優先回路」はクボタの独自技術であり、旋回用ポンプやプライオリティバルブを追加する必要がないことから、1pLSシステムの省エネ効果を悪化させることなく、低コストに速度変化を抑制できる。

4.2.2 作動原理

図7に従来の1pLS回路及び、今回開発した1pLS+旋回優先回路の油圧回路図を示す。従来の1pLSにおいて圧力補償弁を設けていた部分を優先回路では、流量制御弁に置き換えている。

まず、旋回単独操作時における流量制御について述べる。単独操作時、従来の1pLS回路では圧力補償弁は全開状態であり、旋回流量はメインスプールの前後差圧がポンプのLS弁のスプリング力と釣り合うように制御される(LS制御差圧 = PPS-PLS圧)。

一方、旋回優先回路では、旋回流量はメインスプールの前後差圧が流量制御弁のスプリング力と釣りあうように制御される(流量制御弁設定差圧 = PPS-Pc圧)。

単独操作時においては、流量制御方法は異なるものの、設定流量を同一にすることでどちらの回路も同じ流量が得られる。

次に複合操作時について述べる。ここでは旋回・ブーム複合操作時における流量制御について述べる。従来の1pLS回路では前項で説明した通り、ブームの高圧信号によって低压側の旋回に圧力補償弁が疑似負荷を発生させ、分流制御される(図8)。ポンプ流量が不足していない場合は単独操作時と同一速度となるが、負荷が増加すると、馬力制御により作業機の要求流量に対してポンプの流量が不足するため、単独操作時に対して各々のセクションで均等に速度が低下する。特に複合操作時に旋回速度が変化してしまうと操作性が悪化してしまう。

一方で、旋回優先回路では、旋回・ブーム複合操作時においてもブームセクションの高圧信号の影響を旋回の流量制御弁が受けない回路となっており、旋回側に疑似負荷は発生しない。このため、複合操作で負荷が増加し、馬力制御によりポンプの流量が不足した場合においても旋回に優先的に流量が確保されるため、旋回速度は変化せず、良好な操作性が得られる(図9)。

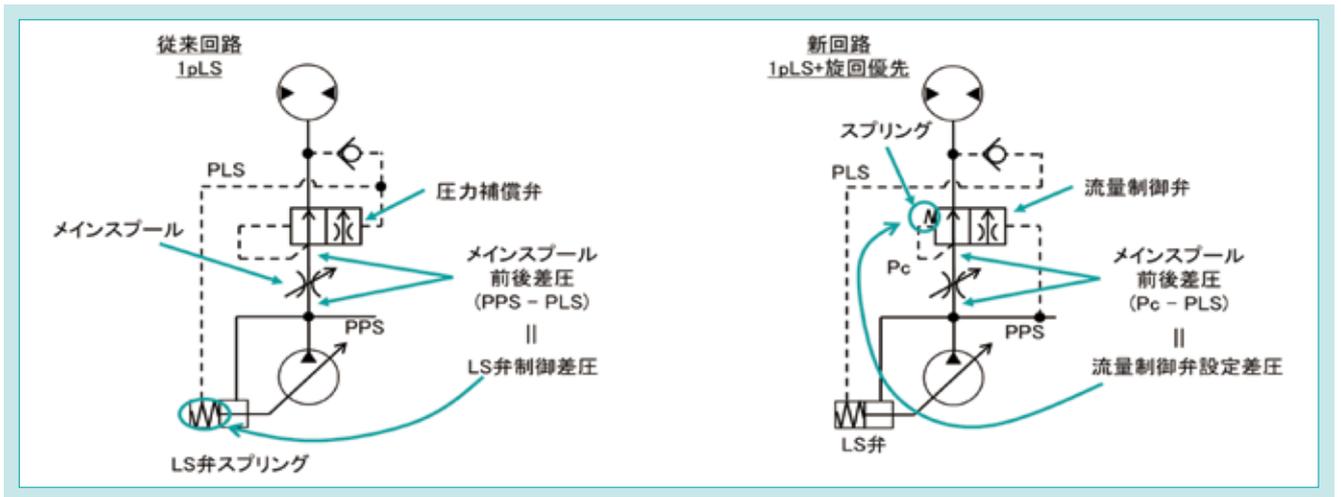


図 7 油圧回路比較

Fig. 7 Comparison of Hydraulic Circuit

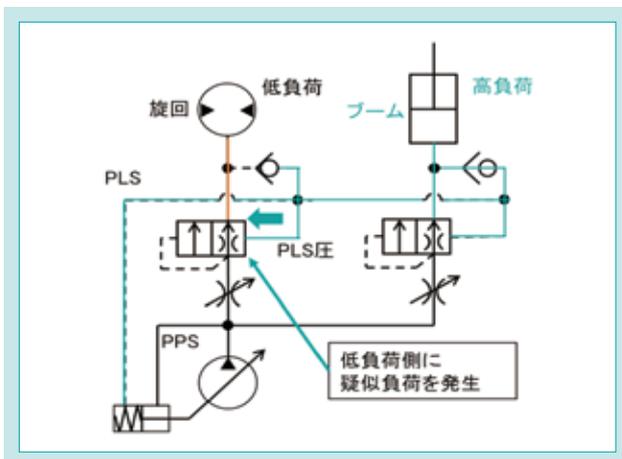


図 8 従来の 1pLS 回路における複合操作
Fig. 8 Simultaneous Operation of Conventional 1pLS

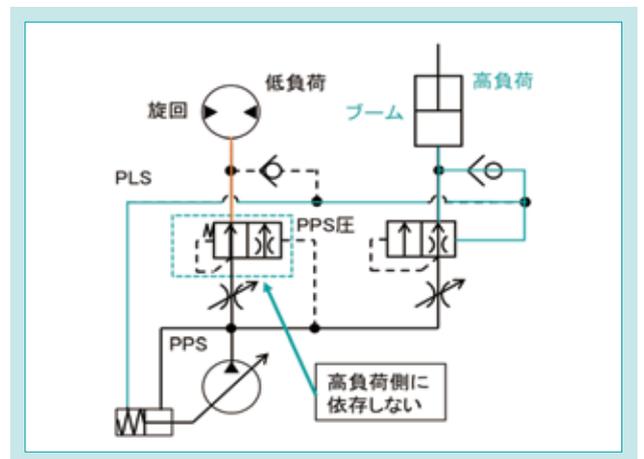


図 9 1pLS+ 旋回優先回路における複合操作
Fig. 9 Simultaneous Operation of Conventional 1pLS with Priority Circuit

4.2.3 効果確認

今回開発した1pLS+旋回優先回路と従来の1pLS回路それぞれにおいて、旋回流量の変化を台上試験装置にて測定し、効果を確認した(表3)。また旋回の流量変化を図10に示す。

従来の1pLS回路では、ブームがリリーフした際の旋回流量が20%以上低下しているのに対し、1pLS+旋回優先回路では

流量変化がほとんどないことから、本回路により旋回の変化低減への効果が確認できた。また、実際に使った人から操作性が向上したとの声をいただいた。

表 3 旋回流量変化比較

Table 3 Comparison of Flow Rate at Each Hydraulic System

項目	単位	1pLS+旋回優先	1pLS
旋回流量 (ブーム+旋回作動時)	%	100	100
旋回流量 (ブームリリーフ時)	%	98	78
流量低下率	%	2	22

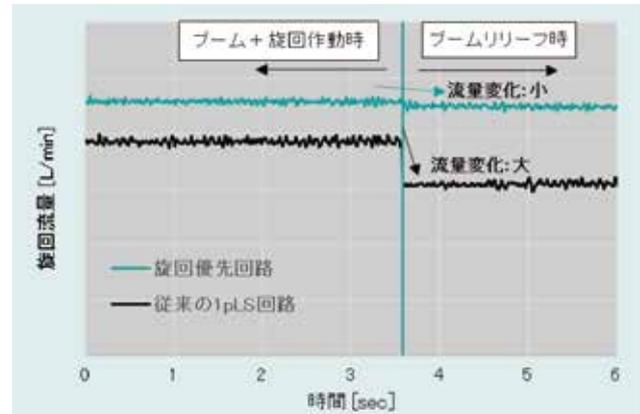


図 10 各油圧システムにおける流量変化
Fig. 10 Change of the Flow at Each Hydraulic System

5. おわりに

U-30/35-6 α シリーズは油圧システムに旋回優先回路付き1pLSシステムを採用したことで、従来機に対して省エネ効果10%以上と作業能力向上を同時に超過達成し、また1pLSシステムの欠点であった旋回速度変化を解消することで操作性向上を達成することができた。国内向け機種導入後、海外向け派生機種も順

次展開し、お客様から好評をいただいている。

今後は、本開発で採用した旋回優先回路付き1pLSシステムを他機種に水平展開することで、世界の環境問題、インフラ整備に貢献していく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

- 7.3 エネルギー効率の改善 油圧システム変更により、従来機に対して省エネ効果10%を実現
- 9.2 包括的かつ持続可能な産業基盤の強化 機械の操作性向上を実現
- 11.a 都市と農村部のつながり支援 世界のインフラ整備に貢献

参考文献

- 1) 日本建設機械工業会 統計データ 2021年度
<https://www.cema.or.jp/general/statistics/index.html>、(参照日 2023-09-08)

国内向けSLシリーズトラクタ用畑作ロータリの開発

Development of Rotary for Upland Farming with SL Series Tractor for the Domestic Market

農業ソリューション技術部

近年、国内では米価低迷による稲作離れが進んでいる。また、加工・業務用野菜や輸入生鮮野菜の国産化を求める声も大きくなっており、野菜の作付面積拡大と増産を努力目標に据えた国の施策も追い風となって、国内農機市場は稲作用から畑作用へと遷移している。畑作用農業機械の更なる高性能化及び高効率化が望まれる現状を踏まえ、「逆転専用ロータリ」と「超砕土成形ロータリ」を開発した。これらロータリは麦・大豆・野菜の優れた播種床作りをわずか一工程で行うことができるため、畑作業の高効率化に寄与する。そして、市場に存在していた従来製品では過大なロータリ重量が原因で不向きとされていた、SLシリーズトラクタでの安定作業を実現させた。

【キーワード】

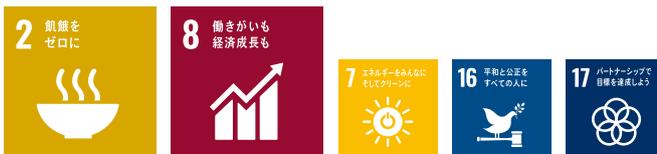
畑作、ロータリ、SLシリーズトラクタ、逆転耕うん、うね立て

In response to the recent decline in rice prices in Japan, a growing number of rice farmers are transitioning to upland farming. This trend has been further amplified by the Japanese government's policy initiatives aimed at expanding the acreage and production of upland crops. Consequently, the focus of the domestic agricultural machinery market has shifted from catering primarily to rice farming needs to addressing the demands of upland farming practices. To address this market transformation, we have developed the "Up-cut rotary tiller" and the "Riding rotary tiller," specifically engineered to enhance performance and work efficiency in upland farming applications. These innovative tillers make substantial contributions to improving both performance and work efficiency. Furthermore, their lightweight design facilitates stable operation with the SL series tractor, a model specifically designed for the domestic market.

【Key Word】

Upland Farming, Rotary Tiller, SL Series Tractor, Up-Cut, Ridging

関連する SDGs



1. はじめに

1-1 開発の背景

近年の米価低迷(図1)による稲作離れとともに麦・大豆・野菜作といった畑作への転換が進んでいる¹⁾。また、加工・業務用野菜や輸入生鮮野菜の国産化を求める声も大きくなっており、国の施策の直近の課題としても野菜の作付面積拡大と増産を努力目標に据え、農家の収益性向上が図られている(図2)^{2) 3)}。こうした追い風を受け、新たに畑作に取り組もうとする農家は増加傾向にあり、国内農機市場は稲作用から畑作用へと遷移している。このような状況下においては、畑作

用農業機械に対する市場要望を満足した製品開発を行い、各作業にベストマッチした製品を提供することで、畑作業の高効率化に貢献することが重要となってくる。

畑作を行うにあたり重要な項目のひとつとして土づくりが挙げられる。土づくりは畑作業の中でも最初の工程にあたり、のちの作物の成長にまで強く影響するため、土づくりに求められる性能水準(均平性能^{※1}・砕土性能^{※2}・すき込み性能^{※3}など)は高い。加えて、畑作は稲作に比べて作業工程も多いこと

^{※1}圃場を凹凸なく仕上げる性能 ^{※2}土塊を細かく砕く性能 ^{※3}麦わらや稲株などの残渣物を埋没させる性能

から、より多くの労力と労働時間が必要となる。そのため、この土づくりに欠かすことのできない耕うん作業機(以下ロータリ

と称する)には高性能化及び高効率化が強く望まれている。

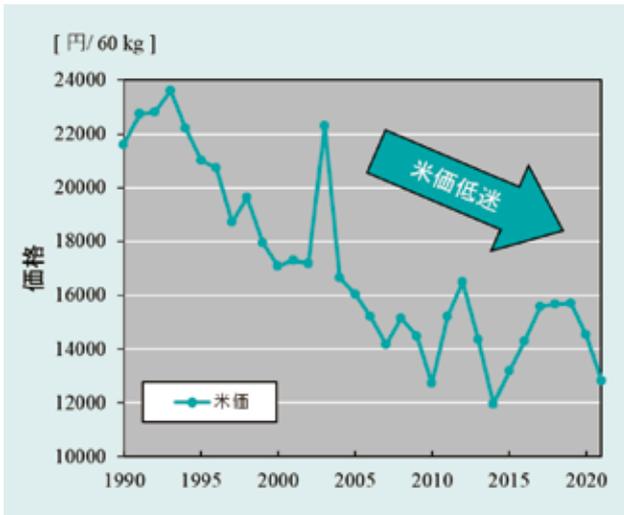


図1 日本国内の米価の推移状況
Fig. 1 Transition Concerning the Price of Rice

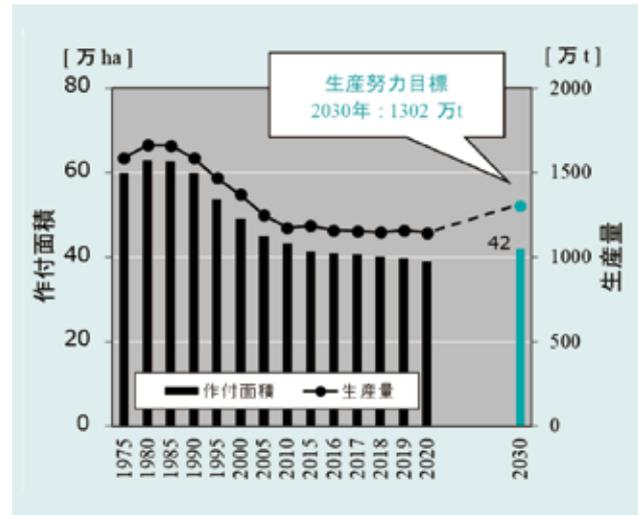


図2 野菜の作付面積・生産量の推移と国が定める努力目標
Fig. 2 Transitions Concerning the Crop Acreage and the Production of Upland Farming

1-2 国内畑作ロータリの市場状況

国内トラクタ販売のボリュームゾーンである出力17.6~44.1 kW(24~60 PS)のSLシリーズトラクタ用にラインナップされている従来の畑作ロータリは過度なロバスト設計のため、トラクタへの装着時に前後重量バランスが悪く、作業そのものが不可能となることもある。これは、それらロータリがSLシリーズトラクタよりも高馬力帯のトラクタへの装着も想定して設計されていることが一因であり、SLシリーズトラクタを所有するユー

ザにおいては作業可否を左右する大きな問題となっている。

また、自社においては、SLシリーズトラクタよりも低馬力帯のトラクタ用畑作用ロータリの製品ラインナップについては比較的充実しているものの、SLシリーズトラクタ用畑作用ロータリについてはまだまだ十分でないのが現状である。

そこで、上記問題を解決するため、クボタのSLシリーズトラクタにベストマッチした畑作ロータリを開発した。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

本開発では畑作ロータリとして『逆転専用ロータリ』と『超砕土成形ロータリ』の開発を行った。開発コンセプトは以下のとおりである。

①SLシリーズトラクタに適応するよう、軽量・コンパクトを強みに持つクボタ純正の正転ロータリをベースとすることで、従来製品よりも軽量の機体設計とし、ロータリ単体での作業時と施肥機や播種機、マルチャなどのアタッチメントを装

着しての複合同時作業時で安定した作業性を実現する。

②施肥機や播種機、マルチャなどの各種アタッチメントを装着可能とし、アタッチメント装着部の耐久性能をベース機よりも向上させることで、各種複合同時作業で使用可能とする。

2-2 目標値

①軽量・コンパクトな機体設計

ロータリ重量の軽量化は作業の安定化、高効率化だけでなく、作業機付き農耕トラクタの公道走行時の保安基準を満足するためにも重要であるため、前輪荷重比(インプレメント及びアタッチメントを含めたトラクタ総重量のうちトラクタ前輪に掛かる重量の割合)20%以上を目標とする。

②アタッチメントを使用した複合同時作業への対応

作業時間の短縮、高効率化のためにアタッチメントを装着しての複合同時作業を行うユーザが増加していることから、アタッチメント装着部の耐久性能はベース機の1.5倍以上を目標とする。

3. 解決すべき技術課題

前述した開発目標値を達成するための課題を下記に示す。

①ロータリ重量と強度の適正化

現在、市場に投入されている従来の畑作ロータリはロータリ重量が過大であるため、SLシリーズトラクタでの作業には不向きな場合が多い。また、作業の高効率化のために施肥機や播種機、マルチャなどのアタッチメントを装着した複合同時作業が求められる昨今では、更なる重量増大を招くため、安定作業がより一層困難になっている。加えて、ロータリの軽量化と強度の関係はトレードオフの関係にあるため、要求される耐久性能を満足させつつ、軽量化を両立させることが課題となる。

②寸法的制約があるなかでの耐久性能向上

アタッチメントを用いた複合同時作業中のアタッチメント装着部の破損は作業の中断を招く。こういった不具合は梅雨などの合間を縫って行わなければならない大豆の播種作業などではそのタイミングを失うことにもなり兼ねないため、当該部品には高い耐久性能が求められる。しかし、アタッチメント装着部には規格やアタッチメント側との関係で寸法的制約が多く存在する。それら制約の中で強度アップを実現させることもまた課題となる。

4. 開発技術

4-1 開発機の概要

4.1.1 逆転専用ロータリ

正転ロータリに対して逆方向に回転(トラクタ車軸回転方向とは逆方向に回転)する爪軸とその爪軸後方に配置された櫛状のレーキの効果により、作物の生育に最適な播種床(二層構造)を一工程で作ることができる汎用ロータリである(図3、4)。

二層構造の播種床…下層は粗く、表層は細かい土で形成される播種床。播種精度や排水性に優れるため発芽率が良い。

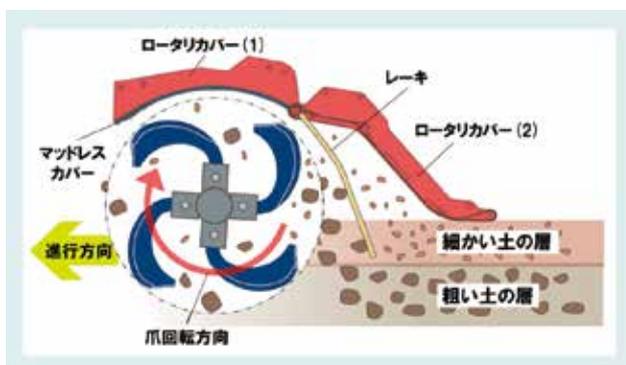


図3 逆転専用ロータリの作用
Fig. 3 Effect of "Up-cut rotary Tiller"

4.1.2 超砕土成形ロータリ

爪本数の多い「砕土爪軸」の採用と増速スプロケットにより爪軸回転数を増速することで、稲株や麦わらなどの残渣物を十分に粉碎でき、うね成形作業を一工程で行うことができるクボタ独自のロータリである(図5)。通常、うね立て時に必要となるうね立て前の荒起こしなどを省略することができ、うね立て作業の高効率化を実現する。



図4 開発機 KUC シリーズ
Fig. 4 Development Model "KUC Series"



図5 開発機 RT-K シリーズ
Fig. 5 Development Model "RT-K Series"

4-2 ロータリ重量とトラクタ装着時の前後重量バランス

現在、市場投入されている従来の畑作ロータリは前述のとおり、その重量は過大である。また、作業の効率化が重要視され、複合同時作業を前提とした昨今の農業において、畑作ロータリへのアタッチメント装着は避けては通れないものとなっている。このため、トラクタ装着時に適切な前後重量バランスを満足できず、SLシリーズトラクタでの安定作業が一層困難になっている。

そこで、SLシリーズトラクタでの安定した作業を実現するため、ロータリ本体はSLシリーズトラクタ用に専用設計されているクボタ純正の正転ロータリを設計ベースとすることで、要求される耐久性能を満足させながら、アタッチメント装着時でも公道走行時の保安基準を満足するものとした。本報では従来の畑作ロータリのなかでも特にロータリ重量が大きい、逆転専用ロータリに関する比較を代表して記載するが、開発機のすべての耕幅において従来製品よりも大幅な軽量化を実現した(表1)。

また、トラクタ装着時の前後重量バランスの改善にはロータリ装着位置もまた重要である。開発機ではSLシリーズトラクタ装着時であっても適切な前後重量バランスを確保するため、耕深調整機構(ゲージ輪)を機体後方にレイアウトした。これにより従来製品よりも約24%(375 mm)もトラクタに近接した装着を可能としている(図6)。

以上より、従来製品ではSLシリーズトラクタの最上位機種にあたるSL600に装着した場合でもロータリ単体時に前輪荷重比 $\geq 20\%$ を満足させようとするとフロントウエイトを装着可能枚数の最大数である10枚を必要とし、アタッチメント追加装着時では前輪荷重比 $< 5\%$ となるため、公道走行はおろか作業そのものも不可能であった。一方で、開発機ではロータリ単体時及びアタッチメント追加装着時のそれぞれの場合で前輪荷重比 $\geq 20\%$ を達成したことで、従来製品では作業できなかった条件下でも安定した作業を実現した(表2)。

●トラクタ前輪荷重比の計算式

$$\gamma_f = \frac{M_f}{M_a} \times 100 \quad [1]$$

γ_f : 前輪荷重比 [%]

M_a : 総重量 [kg]

M_f : トラクタ前輪に掛かる重量[kg]

表1 逆転専用ロータリのロータリ重量比較
Table 1 Weight Comparison of "Up-cut Rotary Tiller"

ロータリ耕幅 [m]	ロータリ重量 [kg]		
	開発機 KUC ser.	従来製品 ① ser.	従来製品 ② ser.
1.5	RL15S-KUC 304	従来製品 A 365	-
1.6	RL16S-KUC 316	従来製品 B 375	-
1.7	RM17S-KUC 341	従来製品 C 395	-
1.8	RM18S-KUC 353	従来製品 D 405	-
1.9	RM19S-KUC 366	-	-
2.0	RM20S-KUC 380	従来製品 E 670	従来製品 G 675
2.2	RM22S-KUC 416	従来製品 F 700	従来製品 H 722



図6 トラクタ後輪車軸からロータリ爪軸までの距離
Fig. 6 Distance Between Rear Wheel Axle and Blade Shaft of Rotary Tiller

表 2 逆転専用ロータリを SL600 に装着した際の前輪荷重比比較
Table 2 Load Ratio of Front Wheel Comparison of SL600 Tractor with "Up-cut Rotary Tiller" and Attachment

	開発機(RM22S-KUC)		従来製品 H	
	ロータリ単体 (416 kg)	アタッチメント 追加装着 (416 + 350 kg)	ロータリ単体 (722 kg)	アタッチメント 追加装着 (722 + 350kg)
前輪荷重比 (フロントウエイト枚数)	26.6 % (0)	20.5 % (10)	21.2 % (10)	4.5 % (10)

※アタッチメントは 8 条施肥・播種機で全ユニット分が肥料と種子で満タン時を想定
 ※上記施肥・播種機は装着が想定されるアタッチメント内で最大重量である
 ※フロントウエイトは 1 枚 25 kg である

4-3 アタッチメント装着部の耐久性能向上

アタッチメントを装着しての複合同時作業が主流となるなかで、アタッチメント装着部の耐久性能向上のニーズは根強く存在する。一方で、アタッチメント装着部にはアタッチメント側との関係で角パイプ径や隙間などに関する寸法的制約が多い。そのような状況下で、アタッチメント装着部の構成部品(図7内の①および②部品)の形状や板厚などを見直し、耐久性能向上を図ることとした。

<耐久性能向上策の詳細>

- ・①部品の形状を見直し、①②部品の溶接長を延長する。
- ・ベース機では部材間の板厚差が大きく、断面係数の変化点で応力が集中する構造であったのに対し、開発機では部材間の板厚差を小さくし、極端な断面係数変化をなくすことで、応力が集中しにくい形状に変更する。

そこで、想定されるアタッチメントのなかで最大重量となる施肥・播種機(350 kg)を装着しての強度解析を実施することにより、当該部品に過大な負荷がかかった際(悪路走行時および耕うん落下時)の強度について検証を行った。強度解析による検討に加え、悪路走行試験及び耕うん落下試験にて耐久性能向上策の効果について確認し、その結果、ベース機よりも大幅な耐久性能向上を達成することができた(図8および表3)。

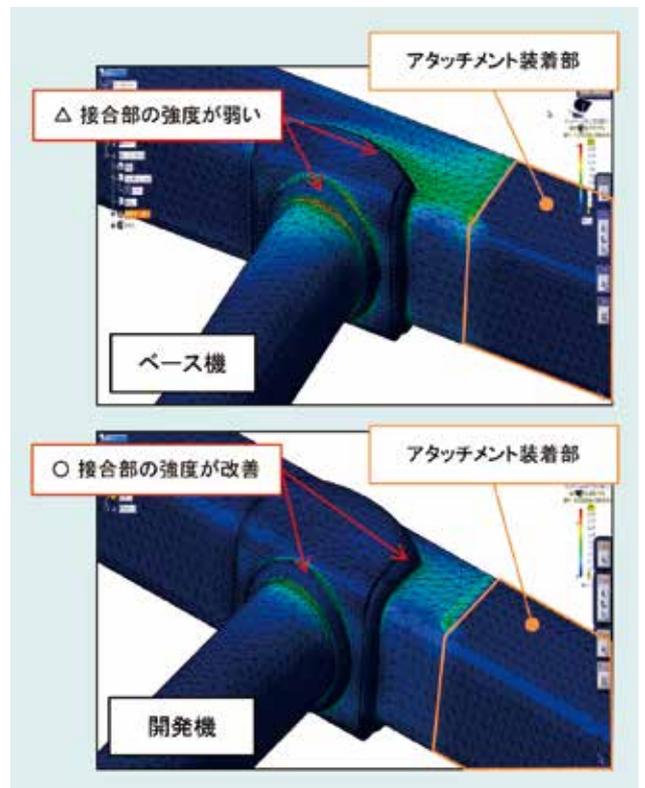


図 8 強度解析結果
Fig. 8 Strength Analysis Result

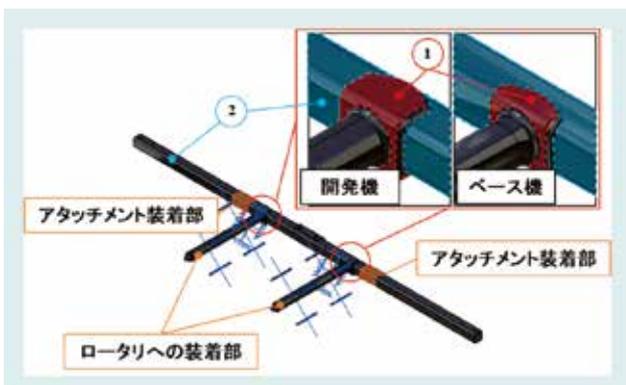


図 7 アタッチメント装着部の強度解析モデル
Fig. 7 Analytical Model of Part Mounting Attachments

表 3 アタッチメント装着部の強度比較(実測値)
Table 3 Strain Comparison of Part Mounting Attachments (Measured Value)

	開発機 [μST]	ベース機 [μST]	低減率
悪路走行時	876	4294	80 %
耕うん落下時	1441	4657	69 %

5. おわりに

トラクタがロータリの適応馬力内にもかかわらず、ロータリ重量などが原因となって、SLシリーズトラクタで畑作ロータリを使用できない状況が多くあった。そのようななか、SLシリーズトラクタ専用に設計した本開発機は、アタッチメントを装着した複合作業時であってもSLシリーズトラクタで安定した作業を可能にした。これにより、作業の高効率化を実現することができた。また、播種床作り

などに優れる本開発機では、収穫物の収穫量増大も期待でき、生産性向上にも貢献することができた。

本開発機を市場投入以降も継続して畑作向けインプレメントの開発を行っている。今後も、顧客ニーズに合った製品開発を行うことで、さらなる顧客満足度の向上を図り、畑作作業の高効率化に貢献していく。

SDGs のターゲットへの貢献

2.4 持続可能かつ強靱な農業の実現 作業能率の向上と安定作業の実現

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 播種床作りに優れた畑作ロータリの開発により畑作物の生産性向上に貢献

参考文献

- 1) 米をめぐる関係資料(令和5年3月)(農林水産省)
<https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokuryo/230301/attach/pdf/230301-27.pdf> (参照2023-09-11)
- 2) 食料自給率目標と食料自給力指標について (農林水産省)
https://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/attach/pdf/index-10.pdf (参照2023-09-11)
- 3) 作況調査(野菜)(農林水産省)
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/ (参照2023-09-11)

Development of Drone Sprayer and Kubota IoT Intelligence Drone (K-iDrone)

散布ドローン及び K-iDrone (Kubota IoT Intelligence Drone) の開発

KUBOTA Research and Development Asia Co.,Ltd

農業用散布ドローンは近年、農産業において重要な役割を果たしつつあり、タイ市場においては、販売台数が急速に伸びている。

このドローンは、単体でも機能するが、IoTデバイスでもあるために、アプリケーションにより機能を拡張することが可能である。KRDAは、ドローンから取得したデータによって、ユーザの作業効率と、ドローン操作支援を最大化するために、高度なアルゴリズムと分析モジュールを活用したクラウドベースのIoTプラットフォームであるK-iDroneを開発した。

このK-iDroneにより、当社のタイ及びASEAN地域における散布ドローン事業は、他社に対して高い競争力を生み出すことができ、更なる販売拡大が期待できる。

【キーワード】

農業用散布ドローン、IoTデバイス、クラウドベース、アプリケーション、作業効率

Agricultural spraying drones have become an important aspect of agricultural industry in recent years. However, these drones are characterized by their technological complexity and sophistication, posing challenges for their effective utilization. Recognizing the inherent IoT nature of drones, KRDA has developed K-iDrone, a cloud-based IoT platform designed to empower users to enhance their work efficiency and refine drone operations by leveraging the power of advanced algorithms and analytical modules to extract actionable insights from data acquired from the drones.

Owing to the rapid increase in spraying drones, KRDA has introduced the K-iDrone with the dual objectives of enabling users to harness the full potential of these drones and positioning KUBOTA as a key differentiator in driving the growth potential of spraying drones across Thailand and the ASEAN region.

【Keyword】

Agricultural Spraying Drones, IoT Platform, Cloud-Based, Analytics, Efficiency Improvement

Related SDGs



1. Introduction

Agricultural spraying drones are growing in popularity in the South-East Asian countries, with about 10,000 units sold and 400 % growth from 2020 to 2022 in Thailand. (Fig.1)

Since spraying drones are one of IoT devices that can generate and deliver huge amount of data, KRDA has identified an opportunity to simplify the complexities of drone operations and allow users to utilize the drones to their full potential by developing K-iDrone which links and analyzes data acquired from the drones.

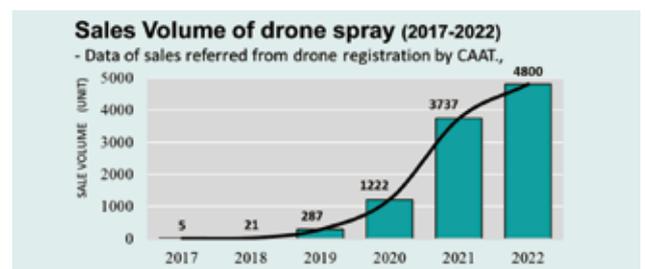


Fig. 1 Thailand's Sales Volume
図 1 タイの販売台数

With the amount of increasing agricultural spraying drones, new or even experienced users use the drones to spray chemicals inefficiently due to a lack of knowledge regarding optimal settings which most of the time causes ineffective and unsatisfied results of the sprays.

Additionally, there are increasing number of reports of drone malfunction and equipment failure, attributed to inadequate maintenance, user error, and other factors.

Therefore, to address these issues, K-iDrone is developed for drone users with the aim to help performance and efficiency when the drone is utilized for spraying tasks, and, with the acquired operation data of the drones, K-iDrone will help detect indications of abnormal operations and notify users before the drone breaks down or malfunctions.

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

The development concept is based on the following points.

1) K-iDrone must have the capability to predict spray patterns based on operations of the drone, and provide recommendations for adjustments aiming at enhancing spraying efficiency.

2) K-iDrone must have the ability to alert users when it detects abnormal operations of the drones and provide recommendations for appropriate maintenance timing.

2-2 Target Value

In order to address the common issues stated, K-iDrone is developed with 3 target values below.

1) Spray pattern prediction model

The developed model must be able to predict the pattern of the sprays based on the drone's setting with more than 80 % accuracy.

2) Spray enhancement algorithm

The developed algorithm must be able to suggest adjustments to the drone's setting in order to enhance drone's performance and efficiency.

3) Anomaly detection model

The developed model must be able to detect indications of abnormal operations and notify users before the drone breaks down or malfunctions.

3. Technical challenge to be solved

In order to help users optimize drone's setting for performance improvement:

Firstly, the prediction model was developed to predict spraying patterns in various drone setting conditions such as speed, height, flowrate and environment factors that affect the droplets, which change the spraying pattern. Therefore, data must be collected under all conditions to accurately determine the droplet density profile of the spray coverage area: (Fig.2)

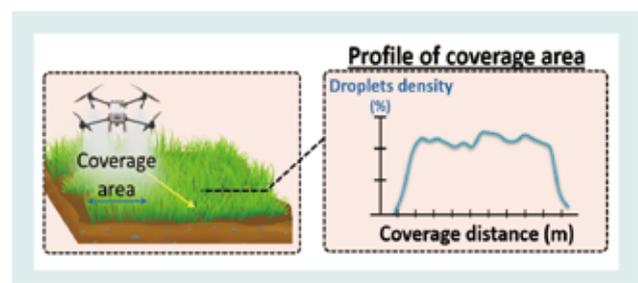


Fig. 2 Spray Pattern by Prediction Model

図 2 予測モデルによる散布パターン

Secondly, algorithms to assess droplet density profile and adjust drone's setting factors is needed such as speed, height, flow rate to achieve the adequate density and improve the spraying result by accumulating density of each flight path; (Fig.3)

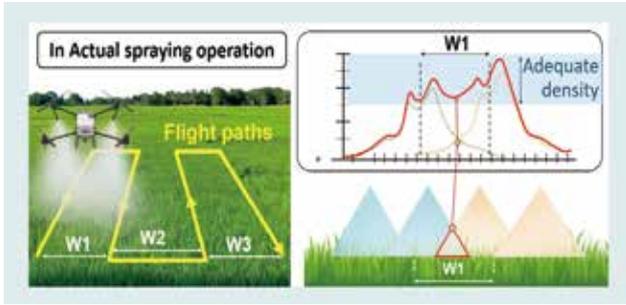


Fig. 3 Improve Spray Pattern with Algorithm
 図3 アルゴリズムによるスプレーパターンの改善

Droplets at adequate density range are maintained and droplets density in concerned range (W1) $\leq 10\%$.

Lastly, to address and prevent unexpected damage of drone parts issues, an anomaly detection model that can detect abnormal behavior of drone parts from behavior patterns in flight record data needs to be developed to notify the users when abnormal operation is detected and to display the remaining life-span. (Fig.4)

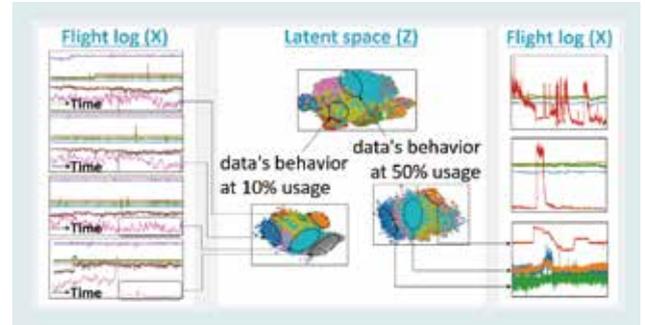


Fig. 4 Machine Learning Model Training by Autoencoder
 図4 オートエンコーダによる機械学習モデルのトレーニング

4. Developed Technology

4-1 Spray pattern prediction model

4.1.1 Spraying results collection and data analysis

In order to build a machine learning model to analyze the spraying performance, samples of spraying results at different conditions are collected and converted into numerical dataset via an image analyzer.

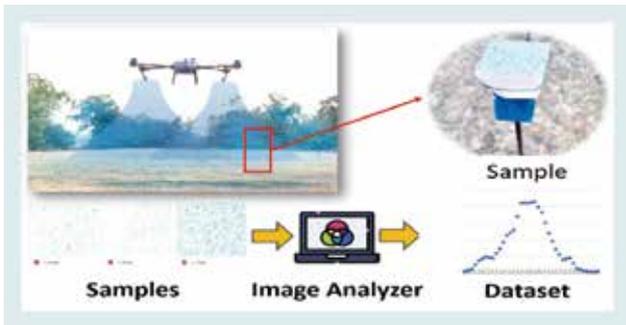


Fig. 5 Spraying Results
 図5 散布結果

4.1.2 Spray pattern prediction machine learning model training

The dataset is then used to train the machine learning model using linear regression, random forest regression, and gradient boosting techniques in order for the model to learn the patterns and relations between each factor that affects the result of the spraying based on settings of the drone.

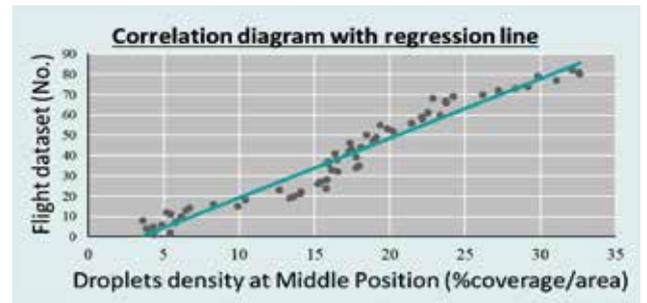


Fig. 6 Correlation of Droplets Density at Middle Position
 図6 中間位置での液滴密度の相関

4.1.3 Model prediction accuracy test

The model's accuracy is tested by inputting unseen data and comparing with the actual result. (Fig.7)

The model achieved outputting spraying density at different positions with the average accuracy of 90%.

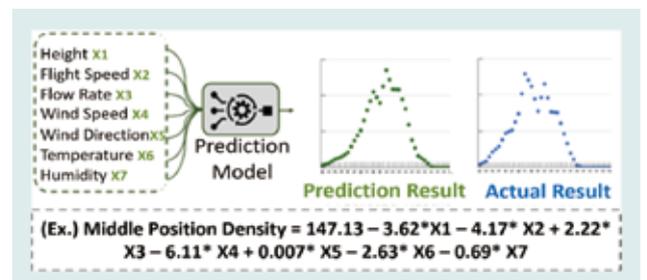


Fig. 7 Results Comparison
 図7 結果の比較

4-2 Spraying enhancement algorithm

4.2.1 Spraying enhancement algorithm

Density and dispersion of chemical droplets indicate effectiveness of spray. KRDA conducts inquiries with customers to gather information on the settings utilized by them, and these settings are then employed in testing the results of the spraying. As shown in Fig. 8, the results reveal that the density of droplets is excessive in the central portion and experiences a marked decline towards the edge of the specified range with the difference in density of 33.9% indicating inadequate dispersion.

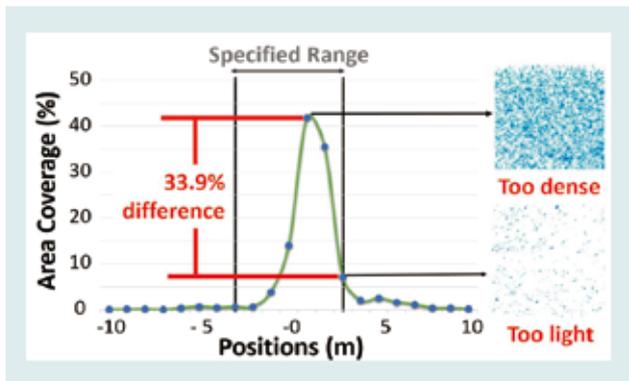


Fig. 8 Spraying Result with Users Setting
図8 ユーザー設定による散布結果

Spraying enhancement algorithm is utilized in K-iDrone Spraying Performance Analyzer. It evaluates flight settings input by users and analyzes the spray effect focusing on droplets density, dispersion and row width, and then performs adjustment to factors such as flight speed, height, spray amount and etc. with the aim to maximize spray effect for maintaining droplets density adequate and in appropriate range.

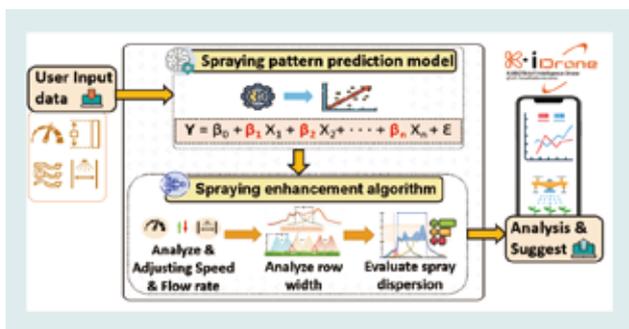


Fig. 9 Diagram of K-iDrone Spraying Performance Analyzer
図9 K-iDrone 散布性能解析のダイアグラム

To evaluate its functionality, the previously used user settings are used. The analyzer provides suggestions for adjustments to improve the outcome, along with the predicted pattern after a setting adjustment.



Fig. 10 Suggestion for Settings Adjustment
図10 設定調整の提案

4.2.2 Field test and result collection

An adjustment is applied to the setting according to the suggestion from K-iDrone. The spray result in Fig. 11 shows a noticeable improvement in the droplets dispersion with adequate density.

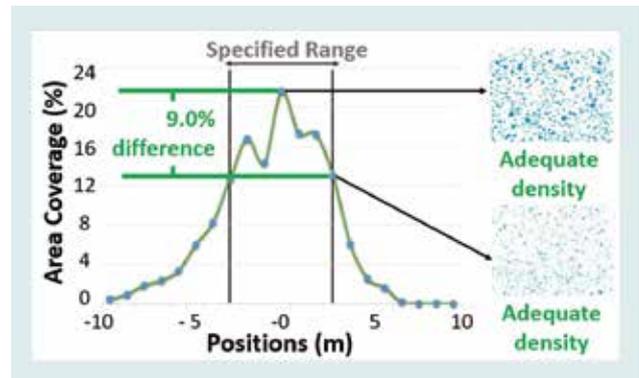


Fig. 11 Spraying Result After Adjustment
図11 調整後の散布結果

In the actual operation, the density of the area at which the sprays between operating line N and N+1 intersects will have a proper density of droplets (the highlighted area in Fig.12 is the accumulated density between the two lines) with $\geq 90\%$ droplets at appropriate density being maintained and $\leq 10\%$ difference in density in the concerned range (W1).

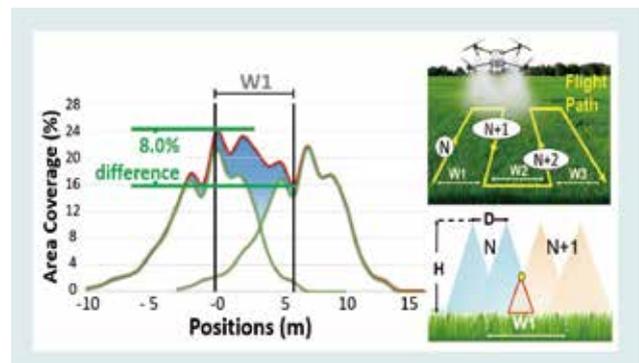


Fig. 12 Adjusted Setting Spraying Result between Operation Lines
図12 設定調整後の作業列間の散布結果

4-3 Anomaly detection model

4.3.1 Anomaly detection model development

Like most agricultural machinery, spraying drones are equipped with a number of consumable components. Unfortunately, some models of these drones do not possess maintenance guidelines within their user manuals, making maintenance a challenging task. In light of this, KRDA has developed an anomaly detection model, which utilizes both real-time and historical data from the drone to identify early indications of abnormal operations. This model assesses the drone's operation and any abnormalities that it could have encountered, and assists users to know the appropriate maintenance of their drones in advance.

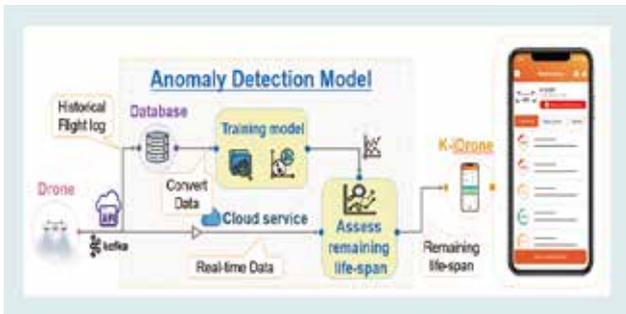


Fig. 13 Flow Diagram of Anomaly Detection Model
 図 13 異常検出モデルのダイアグラム

4.3.2 Anomaly detection model training

To train the model to recognize anomaly patterns, flight logs from drones reporting issues in their parts are used. In this case, the focus is on the water pump, which is a component prone to frequent damage.

Each flight log contains operational data from a specific flight, such as speed, spray flag, flow rate, water pump RPM, centrifugal nozzle RPM, and so on. Each of these attributes is timestamped.

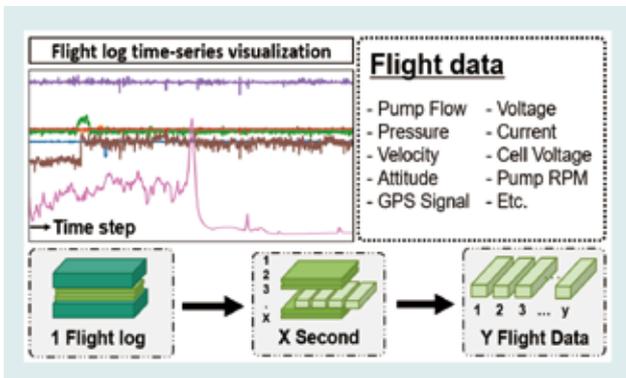


Fig. 14 Flight Log Data Illustration
 図 14 フライトログデータのイラスト

Due to huge amount of dataset, Autoencoder and K-means Clustering technique are used to compress the dataset in order to capture the most important parts of the input dataset and filter out irrelevant data that is considered as noise.

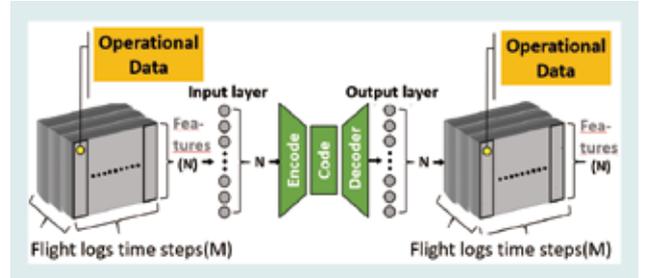


Fig. 15 Autoencoder Network
 図 15 オートエンコーダのネットワーク

The trained model recognizes that when use of water pump reaches 80-85 % of its total life-span (100 % is when it fails), behavior of its operation changes which indicates its abnormalities with the 76 % accuracy of detection.

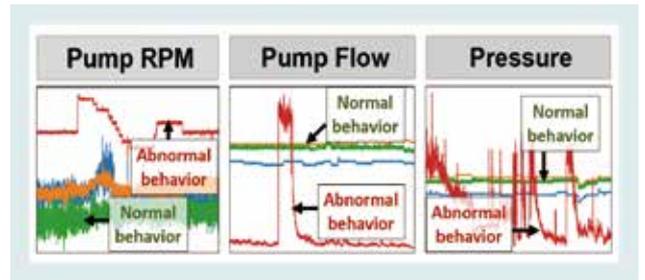


Fig. 16 Water Pump Behavior Changes
 図 16 水ポンプの動作の変化

4.3.3 Life-span assessment evaluation

To evaluate the model's efficiency, life-span assessment evaluation is applied to a K-D20P spraying drone that has been utilized extensively. After the model analyzes the drone's historical flight logs, the model is able to detect the abnormality and assess the remaining life-span of its water pump.



Fig. 17 Life-Span Assessment
 図 17 寿命評価

5. Conclusion

5-1 Evaluation of the achievements

5.1.1 Spray pattern prediction model

The model is able to predict droplets density at concerned positions with 90 % accuracy compared to the actual data.

5.1.2 Spraying enhancement algorithm

The algorithm is able to suggest and optimize spray setting to maintain 90 % of droplets at appropriate density within the concerned range.

5.1.3 Anomaly detection model

The model is able to detect abnormal operations of drone's water pump with the accuracy of 76 % and able to assess its remaining life-span.

Table 1 Product Evaluation

表 1 製品評価

Item	Target	Result	Evaluation
Spray pattern prediction	≥80 %	90 %	●
Spray enhancement algorithm	≥80 %	90 %	●
Anomaly detection model	≥70 %	76 %	●

5-2 Contribution to the business

The achievement of K-iDrone development serves as a key differentiator for KUBOTA in the market and will significantly enhance the growth potential of the spraying drone industry in both Thailand and the ASEAN region as shown in Fig.18.

Kubota entered the drone market in Thailand in 2021 and has been getting good reviews from customers, increasing sales every year.

We intend to continue to meet customer expectations and contribute to agriculture in Thailand.

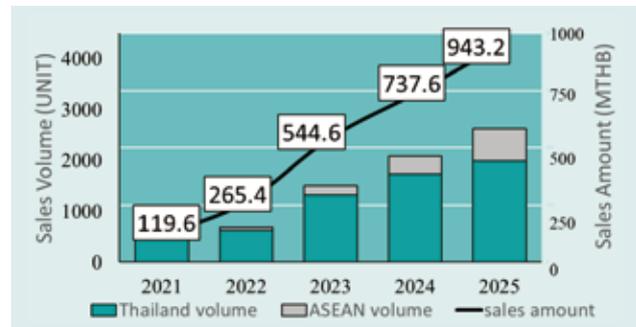


Fig. 18 Sales of Spraying Drones

図 18 散布ドローンの販売状況

Contribution to SDG Targets

3.9 Minimize illnesses from chemicals and pollution.

Optimizing drone spraying to reduce chemical use and promote healthier ecosystems, while lowering risks to humans.

8.2 Improvement in productivity through innovation.

Finding novel ways to make the process of drone spraying more efficient and effective.

9.2 Strengthening inclusive and sustainable industrial infrastructure.

Optimizing drone spraying for minimal chemicals and maximal yield.

[Reference]

Daniel E. Martin; Wayne E.; Woldt; Mohamed A. Latheef, (2019). Effect of Application Height and Ground Speed on Spray Pattern and Droplet Spectra from Remotely Piloted Aerial Application Systems. <https://www.mdpi.com/journal/drones>

Daniele S; Luisa M; Marco R; Riccardo L; Stefania L; Marco V. (2019). Testing a multi-rotor unmanned aerial vehicle for spray application in high slope terraced vineyard. <https://www.researchgate.net/publication/332651498>

Milad Memarzadeh; Bryan Matthews; Ilya Avrekh, (2020) Unsupervised Anomaly Detection in Flight Data Using Convolutional Variational Auto-Encoder. <https://www.mdpi.com/journal/aerospace>

Qi Lian; Feng Tan; Xiaoming Fu; Ping Zhang; Xin Liu; Wei Zhang, (2019) Design of precision variable-rate spray system for unmanned aerial vehicle using automatic control method. <https://www.ijabe.org>

Development of TIM Rear Top Linkage and TIM Spreader

TIM リアトップリンケージと TIM スプレッダインプラメントの開発

Kubota Research and Development Europe S.A.S.

肥料は作物の生育を左右する重要な要素で、散布精度を高めることで収量を高めることに繋がる。また肥料を無駄に撒くことがなければ投入コストの削減に繋がり、作物から得られる収益を最大にするだけでなく、SDGsの観点から環境への影響を最小限に抑えることができ、肥料を最適かつ正確に散布する技術が強く望まれている。

クボタは肥料の最適散布を実現するために、トラクタとスプレッダとのTIM技術 (Tractor Implement Management) による自動姿勢制御を開発した。リアトップリンケージ制御によりスプレッダ散布傾斜を調整する独自の新しい TIMアプリケーションである。この開発により、最適なスプレッダ制御アルゴリズムと連携して、肥料消費量と作物の収量の最適化を可能にした。

【キーワード】

TIM、トップリンケージ制御、傾き制御、自動散布、ピッチ制御、ヒッチ制御

Spreading fertilizer is a crucial aspect of crop production, and it requires precision and efficiency to achieve optimal crop yields. Optimal and accurate distribution of the fertilizer material is highly desired to minimize waste, reduce input costs, maximize return on the crop (prevent underdosing and overdosing of the fertilizer), and minimize environmental impact. To achieve the desired optimization during spreading, Kubota has enhanced the automation of the tractor-spreader coupling with Tractor Implement Management (TIM) technology. In addition, Kubota has developed an exclusive novel TIM style function to control the Rear Top Linkage, thereby enabling precise management of the spreading inclination. These advancements, coupled with an optimal spreader control algorithm, have resulted in optimized fertilizer consumption, improved crop yields, and reduced operator fatigue.

【Keyword】

TIM, Top Link Length Control, Inclination Control, Autonomous Spreading, Pitch Control, Hitch Control

Related SDGs



1. Introduction

Key parameters for an accurate and uniform distribution of the fertilizer to achieve the best results are correct height and inclination of the spreader with respect to the crop surface and disks rotating speed. These parameters are connected to tractor functions

like Rear Hitch (height), Rear Top Linkage (inclination), and tractor Rear PTO (spreader disks rotating speed).

Currently, the operator is supposed to set all the initial parameters and to continuously tune some of them during the spreading phase in order to keep the optimal

values. On the spreader side, the automatic adjustment of some of these parameters (like dosing opening and spreading release point) is already existing but, due to the changing weight in the hopper, the main problem is to keep the height and inclination of the spreader optimal against the crop. This is something still not automated that can cause overdosing and underdosing (Fig. 1) due to the hinge effect (weight distribution on the tractor wheels that impacts inclination of the spreader and disks height).



Fig. 1 Result of Wrong Spreading Settings with Under Dosing Between the Passes (Yellow) and Overdosing on the Passes (Dark Green).
図1 肥料散布が一定でない圃場

Fig. 2 shows an example of the hinge effect in test environment with different tractor tires pressure. The relation between the hopper weight and the hopper inclination and disks height depends on tires conditions, front load, tractor mass and it is mainly linear. A load of about 4,000 kg can result in 16-20 cm decrease in

disks height and 2.9° – 3.5° deviation on the spreader inclination.

A typical problem, just before to start spreading, is to decide if the initial parameters (e.g spreader height and inclination) must be adjusted before or after filling the hopper. Fig. 3 demonstrates that both methods have a side effect if a continuous tuning of the spreader parameters is not properly done (ideally the disks height is always 75 cm above the crop and 0° inclination for the spreader).

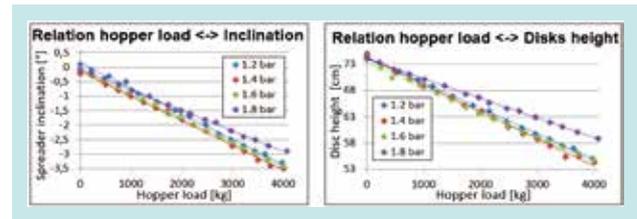


Fig. 2 Hinge Effect with Different Tire Pressures for Disks Height and Spreader Inclination
図2 スプレッダの肥料散布位置の変化

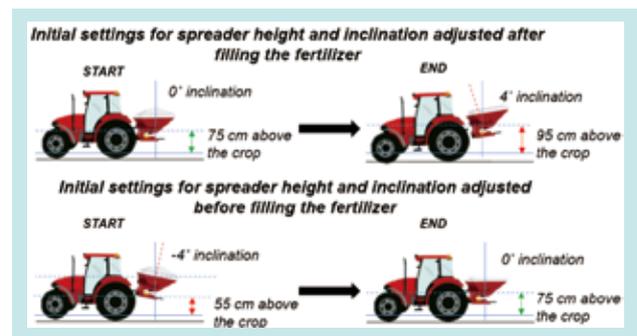


Fig. 3 Different Methods to Set the Initial Parameters and Side Effects (Wrong Inclination and Distance From the Crop)
図3 散布前と散布後でのスプレッダ位置高さの違い

2. R&D Concept and Target Value

2-1 Concept of development

The main idea is to use the TIM technology to complete the set of automatically tuned parameters allowing the spreader to directly manage the resources of the tractor. To proceed in this direction Kubota developed:

- Both on tractor and spreader side: two already normed TIM functions that are TIM Rear PTO (to manage the disks rpm) and TIM Rear Hitch (to manage the spreader height)

- Both on tractor and spreader side: A new TIM function able to manage the Rear Top Linkage. The TIM Rear Top Linkage function is currently in discussion in the AEF (Agricultural Electronic Foundation) TIM group and is expected to be officially introduced in TIM Norm Gen 2
- A new spreader internal algorithm able to manage the 3 functions at the same time coordinating them.

2-2 Target Value

The target value is to reduce the operator interactions with the system and to maximize the yield of the crop keeping the optimal spreading parameters during the whole operation cycle. The direction of the developments was, therefore, to increase the global level of automation of the

tractor/spreader couple (TIM technology plus TIM Rear Top Linkage) and to improve the intelligence on the spreader side, allowing it to develop and drive the best spreading strategy. Accuracy in satisfying the spreader commands for the different functions was also a target of the development.

3. Technical Challenge to be Solved

3-1 Developing the necessary already-existing TIM functions on the tractor and the spreader

The first necessary step was to develop the TIM normed Rear Hitch and Rear PTO functions for a TIM Server (tractor) and the TIM Client (spreader) in order to allow the spreader to manage these resources through ISOBUS following the TIM authentication process and the TIM control loop method.

In Table 1 there are the TIM functions and the TIM functions options (TIM facilities) that allow the spreader to control the necessary tractor features using the TIM norm. These functions had to pass the AEF TIM conformance test in order to get the necessary AEF (Agricultural Electronic Foundation) certificates.

Table 1 TIM Functions and TIM Facilities Developed Both on the Tractor and Spreader Side

表 1 トラクタとスプレッダで既に開発されてきた TIM 機能

TIM Function	TIM Facility	Development necessary to allow the spreader to:	Impacted parameter
Rear PTO	PTO engagement	Engage the Rear PTO when a spreading action is needed	Disks rpm
	PTO disengagement	Disengage the Rear PTO when a spreading action is not needed anymore	Disks rpm
	PTO shaft speed	Manage the speed of the Rear PTO shaft while the fertilizer is spread	Disks rpm
Rear Hitch	Rear Hitch motion	Raise until stop request/lower until stop request/Float and Stop the Rear Hitch	Height of the disks
	Rear Hitch position	Request a specific setpoint position (%) for the Rear Hitch	Height of the disks

3-2 Developing the TIM Rear Top Linkage Function

A completely new function able to manage the spreader inclination, allowing settings like Float, Stop, Raise, Lower, specific setpoint position (%), was developed as a basic tractor function. Then, on top of this development, the function was adapted to the TIM structure, allowing an external source command (the spreader) to command it through the TIM protocol.

The basic challenges were to create a new control loop for a non-existing TIM function replicating the TIM protocol and to reach the proper specific % position of the Rear Top Linkage in a reasonable time, avoiding excessive overshooting and undershooting while allowing different loads on the topline.

Table 2 TIM Rear Top Linkage Function Developed Both on the Tractor and Spreader Side

表 2 リアトップリンクージ機能で開発したトラクタ / スプレッダ TIM 機能

TIM Function	TIM Facility	Development necessary to allow the spreader to:	Impacted parameter
Rear Top Linkage	Rear Top Linkage Motion	Raise until stop request/lower until stop request/Float and Stop the Rear Top Linkage	Disks inclination
	Rear Top Linkage Position	Request a specific setpoint position (%) for the Rear Top Linkage	Disks inclination

3-3 Developing the TIM spreader internal algorithm to manage all the functions

All the functions used for spreading must be managed by the spreader at the same time through an algorithm that mixes the commands together and harmonizes them.

1. Disks speed control: to manage the disks speed by controlling the Tractor Rear PTO via the TIM protocol. Different speeds are necessary for main field and border areas.
2. Spreader height control: to manage the disks height against the crop by controlling the tractor Rear Hitch via TIM protocol. This parameter is heavily influenced by the huge load variation in the spreader and the crop height.
3. Spreader inclination: the geometry of a common tractor hitch defines the relation between the hitch height, toplink length and spreader.

In Fig. 4 the measurements show the required Rear Top Linkage length in association with deviating hitch height for various spreading angles. Since the

hitch height is continuously controlled by the height control, this needs to be taken into account to control the toplink length.

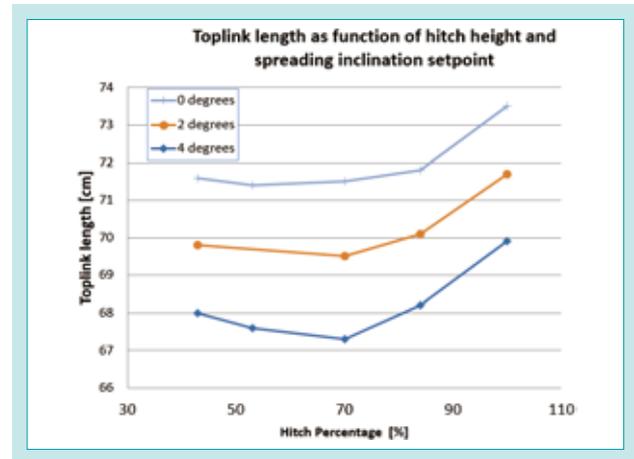


Fig. 4 Rear Top Linkage/Rear Hitch Position Relation
図4 リアトップリンケージ長さとはッチ高さの関係

4. Developed Technology

4-1 Tractor Rear Top Linkage control and TIM structure adaptation

4.1.1 Technical Challenge: developing the TIM Rear Top Linkage

The target was to develop a system able to get some position commands from ISOBUS (Raise, Lower, Float, Stop, % position) and to actuate them through the valve connected to the Rear Top Linkage. This Rear Top Linkage is equipped with a length sensor in order to generate a feedback about its status. This system is not yet present in the TIM norm.

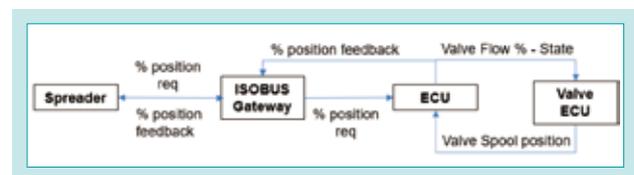


Fig. 5 System Scheme of a TIM Rear Top Linkage Management on the Tractor

図5 TIM リアトップリンケージシステム構成図

4.1.2 Solution of Challenge: PID control and replica of the TIM protocol

Main areas of research and development were:

1. Measurement of the real flow for the valve connected to the Rear Top Linkage in relation with the engine rpm: this activity was necessary in order to guarantee a proper response of the system for the requested flow. For engine rpm lower than 1300 a reasonable flow is not guaranteed.
2. Suitable feedback for the PID controller: experiments and measurements about the communicated valve spool position were conducted, comparing the results with the current method used on the tractor to report the estimated flow (fingertip deflection mirrored as flow estimated status). The spool position and its

relation with the flow is a better parameter for the PID control since the spool position does not change if the engine rpms are not enough (no real movement), meanwhile, if the rpms are enough, the spool position has a clear relation with the flow.

3. Spool displacement movement range: following the measurements, the spool displacement in relation with the oil flow has two main linear working areas (0-30 % and 31 %-80 %) and, into these areas, the relation is suitable for a closed loop control. Due to the nature of the requested adjustment while spreading, the spreader requires a relatively slow rear top linkage control; consequently, the lower range (0-30 % oil flow) has been chosen to implement the control.

4. Creating the PID controller and tuning the PID parameters: the experimental tests corroborated the simulations and different P values to extend and retract the Rear Top Linkage were used, while I and D parameters did not have a big influence for the kind of performances that were requested (quite slow and limited movements).

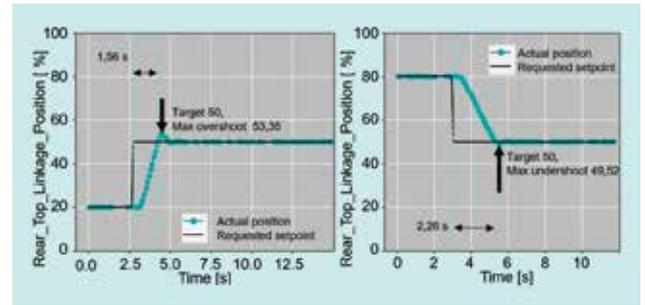


Fig. 6 Extend and Retract Performances with the Optimal Parameters of the Tab Below the Figures

図 6 表 3 の最適パラメータを用いた伸び／縮みでの挙動

Table 3 Optimal Parameters for the PID Control of the Rear Top Linkage

表 3 リアトップリンクageの最適パラメータ

	P	I	D	Dead band	Weight	Qmax [°]	Step-size	Overshoot	SP reaching time
Extend	1500	0	0	0.15 %**	2300 kg	10 %	30 %	3.35 %	1.56 s
Retract	2000	0	0	0.15 %**	2300 kg	10 %	30 %	0.48 %	2.26 s

** 1 % position change in the toplink length result in about 0.2 degrees inclination movement, so 0.15 % dead band means a maximum deviation of 0.03 degrees in the inclination. ° Flow command sensitivity

4-2 Spreader controls

4.2.1 Technical challenge: developing the spreader controls

Disks speed control (Tractor Rear PTO control): a straight forward control based on the tractor Rear PTO was developed; based on the spreading job and specific location into the field, different disks rotation speed setpoints are defined. An accuracy range within ± 5 Rear PTO rpm would generate the best results.

The spreader defines one fixed rotation speed for the main field and another one while going into border areas, depending on the type of border spreading application. In the spreader, the disks necessary speed is converted into rear PTO speed and communicated via TIM protocol to the tractor. Upon reaching the border areas, border spreading unit is hydraulically moved into the spreading flow, then the disks speed setpoint is automatically adjusted accordingly.

Spreader height control (Tractor Rear Hitch control): a control system was developed using ultrasonic distance sensors mounted on the spreader (one per side) . A PID control strategy

manages hitch height control setpoints via TIM protocol to the tractor, allowing the system to react to hopper content and crop height variations. An accuracy range within of ± 5 cm for the hitch height would generate the best results.

Spreader inclination (Tractor Rear Top Link control): a new control strategy was defined where the toplink length is controlled based on spreading inclination setpoint, actual hitch height and actual hopper content (currently under IP).

The implemented solution solves also the problem of a spreader inclination control referred to the field slope and not to earth horizon while driving on hilly conditions. Indeed, in these conditions, it is not possible to generate a standard control based only on an inclination sensor on the spreader; including a secondary inclination sensor on a tractor could partially resolve the relation problem with the rear hitch, but will be still affected by the load in the spreader hopper (hinge effect) .

4.2.2 Solution of Challenge and results: TIM compliancy

Using the TIM protocol to manage the Rear Hitch and the Rear PTO, developing a TIM Rear Top Linkage function and implementing all associated necessary control algorithms in the spreader gave

the expected results, even if some deviations on the Rear PTO performances are still present in corner cases on hilly conditions.

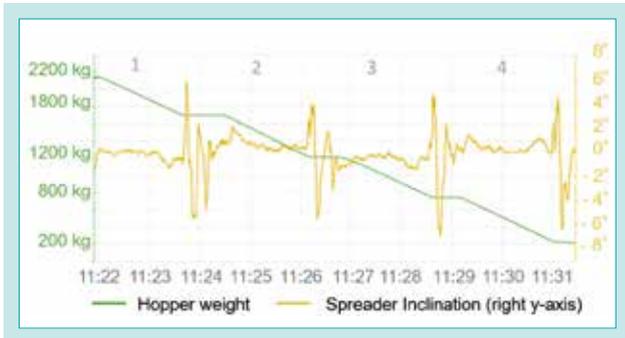


Fig. 7 Hopper Content and Spreading Inclination During the Field Tests Over the Time

図7 フィールドテストにおける Hopper 重量とスプレッダ角度



Fig. 8 Rear Hitch and Top Link Performances During the Field Tests Over the Time

図8 リアヒッチとトップリンケージ制御結果

5. Conclusion

Kubota was able to adapt an already existing technology like TIM to a new feature (Rear Top Linkage electronically controlled) able to satisfy some concrete needs coming from the field. The results are corroborating the chosen development direction and some preliminary tests were already conducted into the field in Q1 2023 in a real spreading season.

Getting, in the future, the Rear Top Linkage in the

TIM norm is expected to expand the spreader business since more tractors compliant with the requested Rear Top Linkage management will be available. At the status, Kubota is a unique manufacturer who is able to offer an electronically controlled Rear Top Linkage that is managed as a TIM function, a spreader able to manage TIM functions plus the TIM Rear Top Linkage and the complete TIM couple for a spreading task.

Contribution to SDG Targets

2.3 Increasing agricultural productivity and income

Reducing the quantity of unused fertilizer and optimizing its distribution determining a crop yield increase (no overdosing and underdosing)

9.2 Improvement in productivity through innovation

New TIM technology applied to solve an existing problem still unsolved

12.2 Strengthening inclusive and sustainable industrial infrastructure

Easy to use technology asking only a software update without any additional part produced

[Reference]

“AEF 023 – ISO 11783 –ISOBUS Automation Principles”

Development of PUDAMA - A Spot Fertilizing System for Maize Seeders

コーン向け部分施肥技術 PUDAMA の開発

Kverneland Group Soest GmbH

サステナビリティの観点から多くの国で肥料の使用を制限する法律があり、これにより農家の収量が減少する可能性がある。この課題克服のため農家は高収量と収入を保証する高価な機械が必要になる。Pudama はコーンの種まきに使用する部分施肥システムで、種の真下に正確に施肥を行う。これにより発芽後の根が簡単に肥料へアクセス可能となり、施肥量を25 %減らすことが可能になる。Pudama は3年間の圃場試験で効果を証明した。ヨーロッパのある農家の条件下では機械の寿命間で€40 000の節約が可能だけでなく、肥料の削減により化石燃料の使用を減らし、また肥料の地下水への流亡による汚染リスクを減少させる。Pudama はSoestのOptima精密播種機と互換性があり、市場シェアと売上を増やす重要な製品である。

【キーワード】

高速播種、部分施肥、陽圧構造、減肥

From the view point of sustainability, in many countries there is a necessity laws that restrict the usage of fertilizers in crop production, which may result in lower yields, less food and less income of farmers. To overcome this challenging situation, farmers require high-efficient machinery to guaranty high yields and sufficient income. Pudama is a newly-developed spot fertilizing system for maize seeding, which replaces a conventional continuous fertilizer placement. Pudama creates a fertilizer depot, which is precisely aligned to the single maize seed. As a result, the fertilizer is more easily accessible for maize roots in a higher concentration. This allows reducing fertilizer application rate by 25 % without any decrease of yield! This result was proven in field test in several locations over 3 years. The additional cost of Pudama techniques pays off after 2 years and saves on top 40 000€ for the farmer related to the fiscal lifetime of the machine under European conditions. Furthermore, this significant fertilizer reduction helps mitigate climate damage by brown energy input and reducing the risk of fertilizer trickling off into groundwater. Pudama is a unique and sustainable solution on the market; it is compatible with several Optima precision seeders that Soest is producing. This is an important step forward to increase market share and turnover for Kverneland Soest.

【Keyword】

High Speed Planter, Spot-Fertilizing, Pressure System, Fertilizer Savings

Related SDGs



1. Introduction

In fact maize is grown on 203 million hectare, which is more than 5 times larger than the size of Japan, worldwide

every year and this causes a high fertilizer consumption (Fig. 1). On the other side we have too much fertilizer in

ground water, lakes and rivers, and many countries are limiting the use of fertilizer. The consequence is the loss of crop yield and income for farmers, and a significant drop down in sales of maize seeders.



Fig. 1 Seeding Maize PP1601 SX
図1 コーン播種機 PP1601 SX

Another fact is that producing nitrogen fertilizer needs a lot of energy, which today becomes a cause of climate-damaging brown energy. Similarly, phosphate fertilizer production involves energy-intensive mining process and transportation. For those reasons, the task is to develop a machine-technology which compensates reduction of fertilizer amount without decreasing yield and without increasing production cost of maize. The fertilizer application for maize is done with the seeding in one go.

The maize seed is placed in a defined spacing to each other and the fertilizer is applied in a continuous band positioned 5cm below and beside (Fig. 2).

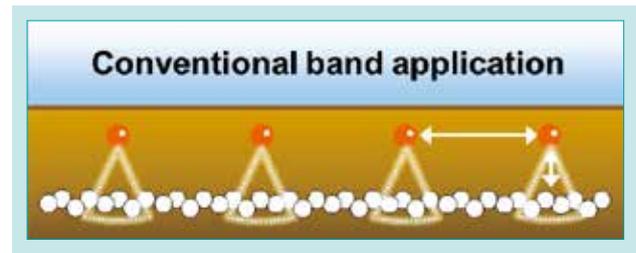


Fig. 2 Conventional Fertilizer Application
図2 従来の施肥方法

Due to the slow growth of maize roots, they cannot access the complete amount of the fertilizer before fertilizer is fixed in the soil or in case of Nitrogen eventually washed down into deeper soil horizons. Hence, the amount of fertilizer between triangles in Fig. 2 are wasted. To save this quantity of fertilizer, a different application technique must be developed. The task is to place the fertilizer close to the corn in a spot (Fig. 3).

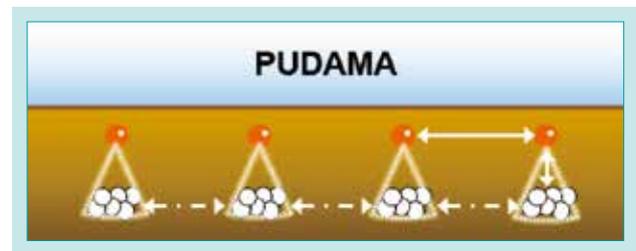


Fig. 3 PUDAMA Spot Fertilizer Application
図3 Pudama による部分施肥

Pudama spot application saves 25 % of fertilizer amount while achieving 100 % yield in maize. For this reason Pudama is sustainable, saves brown energy, reduces fertilizer amount, prevents fertilizer leaching into water, cuts maize production cost and guarantees an improved income for the farmer. The Pudama project was conducted in cooperation with Cologne University of Applied Sciences.

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

The Pudama project has two main tasks. First task is on the agriculture production side. The precondition before starting the development was to prove the theory of saving 25 % of fertilizer by creating fertilizer spots aligned to the maize seed. Cologne University of Applied Sciences, conducted field tests over three years. The second task is to design a new metering unit, which creates fertilizer spots and place

this 60 mm away from the maize seeds. The new unit must be able to work at high operating speed of Optima seeder, which can reach speeds of up to 16 km/h, which means 25 portions of fertilizer per second! The metering unit must be reliable under tough conditions like heavy dust, high humidity and in a corrosive environment. The Pudama system must fit on all Optima SX seeders as an option.

2-2 Target Value

Pudama saves 25 % of fertilizer consumption but achieves 100 % yield in comparison to conventional

application where 100 % of fertilizer amount is necessary to get 100 % yield (Fig. 4). The cost of

maize production is reduced; the total amount is depending on actual fertilizer prices. In average, the Pudama system pays off after two seasons. In total the farmer saves approximately 40 000€ over fiscal lifetime of machine (Fig. 5).

Pudama represents a unique selling point! No other supplier can offer this or something similar in the market. For that reason, we think to increase our Optima turnover by 20 % in the long run.

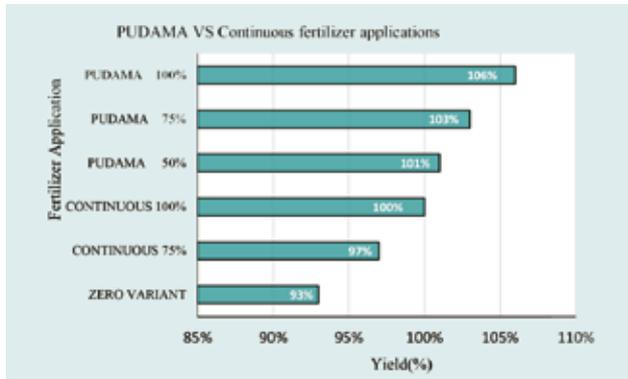


Fig. 4 Yield Comparison
図4 収穫高比較

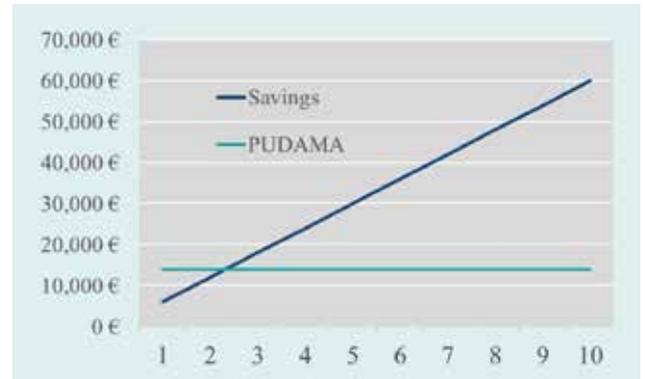


Fig. 5 PUDAMA Cost Saving
図5 Pudamaによる経費削減効果

3. Technical Challenge to be Solved

As there is no comparable technique in the market we need to start from scratch. The challenge was to develop a metering unit, which creates a defined portion of fertilizer in a quick sequence, 25 spots/s. During transport of this portion towards the furrow ground, it is important that all granules of the portion stay together instead of dissolving. Additionally, when the fertilizer reaches its final position, the distance from the first granule to the last granule of a portion should not exceed 60 mm (depot length). This portion of fertilizer must be precisely synchronized with the maize seed and to allow it to work stably at high speed (Fig. 6). The fertilizer itself is challenging due to the fact that granule size and stability varies very much. Beside the granules there is a undefined percentage of fertilizer powder which is getting

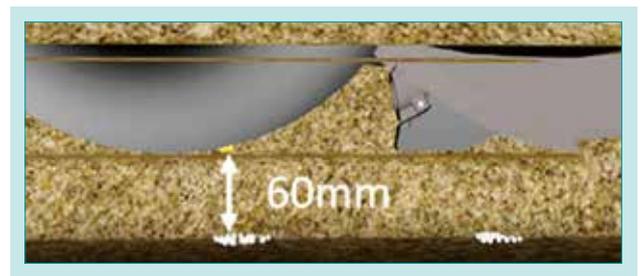


Fig. 6 Depot Size and Synchronization with Seed
図6 播種と施肥溝の位置関係

sticky under humid conditions. This sticky powder may be built up to block mechanics, resulting in a high corrosion supporting area. To find the best components for working in these conditions were challenging.

4. Developed Technology

4-1 Technology for metering unit

4.1.1 Technical Challenge

The challenge has been to invent a metering unit for spot application under above mentioned circumstances. The conventional metering delivers a continuous flow of fertilizer which looks like a

band of fertilizer when it lays in the furrow. It is not possible to generate requested fertilizer spots by switching the drive on and off.

4.1.2 Solution of Challenge

The continuous fertilizer flow must be split up into variable portions. Various ideas were tested in order to achieve this target. The conventional metering feeds the oscillating system, which has two cells (Fig. 7). A shutter turns forward and backwards and allows one cell to be filled while the other cell is emptied. First challenge has been the time for

clearing the cell. It takes too much time therefore this process is assisted by air pressure. When the system failed due to critical dynamic, filling and draining of fertilizer takes too long. Since a lot of mechanical wearing is expected, the above idea has been given up.

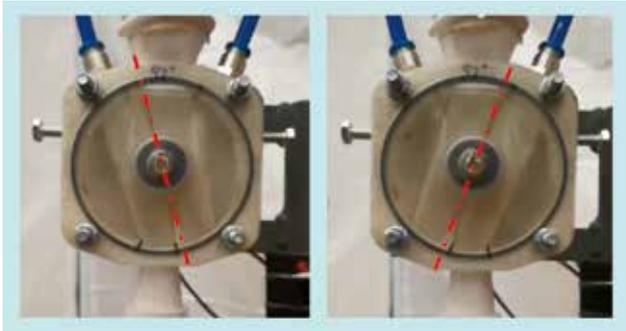


Fig. 7 Oscillating System
図7 オシレータ機構

The second idea is a rotating cell wheel with air support (Fig. 8). The fertilizer filling process and variable depot distance speed control are ideal, but unfortunately, we couldn't get fertilizer out accurately. The process of emptying the cells is critical. The depot length is not short enough and this is the knock out criteria for this solution.



Fig. 8 Rotating Cell Wheel
図8 回転式施肥機構

Working on an Impulse System is the final idea (Fig. 9). The conventional/ continuous fertilizer flow is stopped by a flap, which is frequently opening and closing. Those flaps are spring-loaded and opened by a shock blast. The big advantage of this system is a simple and easy filling process and a very quick draining of the cell due to air assistance. A pneumatic valve is able to do more than 30 shock blast/s. The impulse system shows the best character for the use case and is the base for further developments.

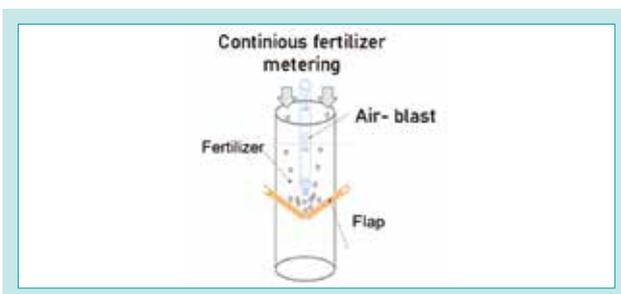


Fig. 9 Impulse System
図9 圧縮空気システム

The fertilizer depot length is the most critical attribute for Pudama and means the distance between the first and last fertilizer particle in the furrow belonging to the same depot. The task is to generate a depot length of approximately 60 mm. If this distance is too long, for example 120 mm and more, the depot borders are too wide and the application is going in direction band sowing again. To get valuable measurement about the depot length while testing the different systems, a test rig was designed to measure the duration from the first to the last fertilizer particle of a portion hitting the plate of a piezo element (Fig. 10). With the help of this test we were able to identify the potential of a design idea in regards of fertilizer depot length.

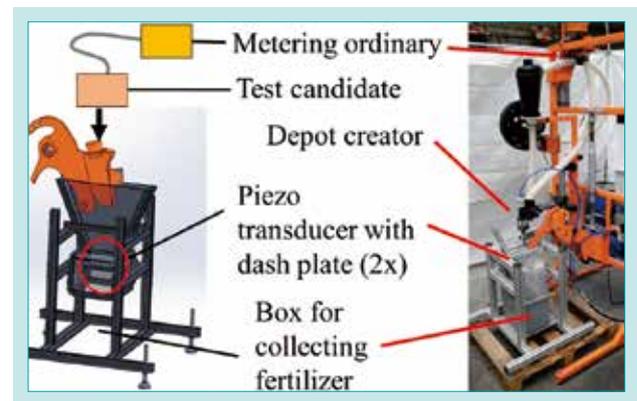


Fig. 10 Measurement by Piezo Element
図10 ピエゾ素子による施肥量測定

The result of Piezo measurement is shown (Fig. 11). It represents an average result with a calculated depot length of 76 mm. The bar graphic demonstrates the border of the depot respective the gaps between the depot.

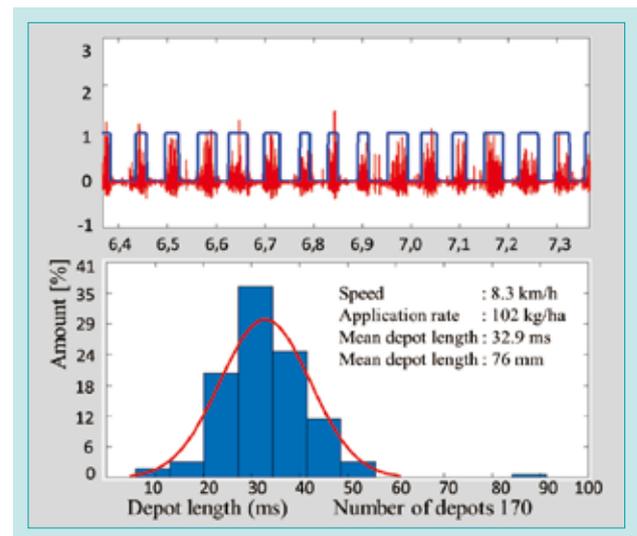


Fig. 11 Result Determined by Piezo Element
図11 施肥量測定結果

4-2 Technology for brush

4.2.1 Technical Challenge

The impulse - system was chosen but still the

mechanical flaps are a challenge in respect of speed

and duration between open and close. The spring mechanic is not reliable and the surrounding conditions limit the lifetime significantly. The

4.2.2 Solution of Challenge

Instead of using spring-loaded flaps, we searched for material which has similar properties i.e. plastic stripes. Unfortunately, the fertilizer adhered and accumulated on the plastic and caused blockage. At least a funnel-shaped brush hair was considered (Fig. 12).

The funnel shape brush solution covers the demand for speed of 25 portion/s and has no mechanical part. The lifetime of the flap/brush is no longer an issue. Due to ongoing open and close

consequence; we decided to look for new solution to replace mechanical flaps.

movement of brush hairs fertilizer has no chance to block or connect.

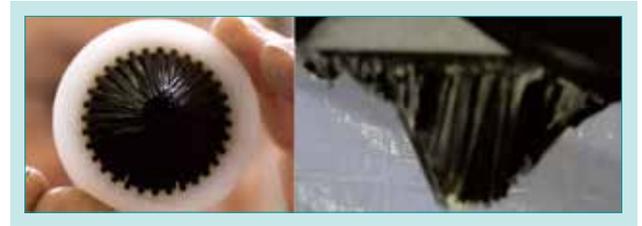


Fig. 12 The Brush Functions as a Valve
図 12 パルプ機能を保有するブラシ構造

4-3 Technology for spot fertilizing

4.3.1 Technical challenge

Initially, the calculation of depot length based on time did not tell us about the shape of depot. The first tests showed that an improvement is necessary (Fig. 13). For that reason we simulated the field surface by a special rubber band. The surface was covered by small rubber cones to prevent fertilizer from moving after landing on the “field”.



Fig. 13 Testing Spot Shape and Size
図 13 部分施肥のテスト

4.3.2 Solution of Challenge

Through iterative tests, we were able to select the best combination of brush attributes— material, diameter of hair, number of hairs and furthermore the brush funnel position related to vertical direction of the pneumatic system to open the brush. Important points are end position of pneumatic tube within funnel, duration and strength of air blast (Fig. 14).

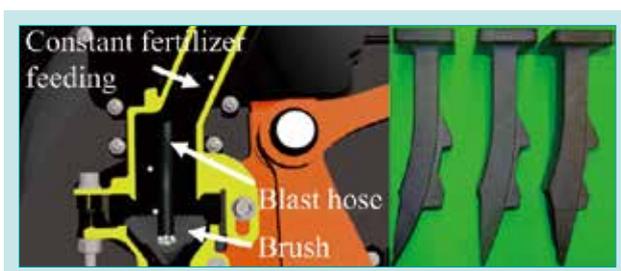


Fig. 14 Left-design of Fertilizer Spot Generator
図 14 部分施肥機構

Further improvements in the length and shape of the fertilizer depot were around the coulter, which leads the fertilizer into the furrow. Tests have been conducted regarding the angle of coulter outlet measured to the furrow and, the outlet shape of coulter itself. The result indicated that the optimum angle for the coulters should be between 15° and 25°.

All of the mentioned attributes were taken into consideration in the final design of Pudama fertilizer coulters (Fig. 15). The spot applicator is integrated within the fertilizer coulters to minimize the fertilizer transport distance into the furrow. The kinematics of fertilizer support guarantees always a fixed angle of the coulter outlet on all depth adjustment positions. This design fulfills all requirements and generates a short depot length (Fig. 16).

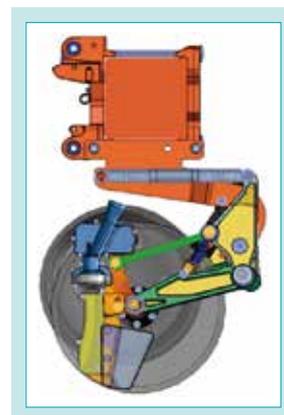


Fig. 15 PUDAMA Unit
図 15 Pudama ユニット



Fig. 16 Fertilizer Depot in Field
図 16 実作業での施肥溝

4-4 Technology for synchronization seeds with fertilizers

4.4.1 Technical Challenge

The fertilizer spot application must be precisely synchronized with placement of seeds analogous to drive speed and seed distance in the furrow. Seed and fertilizer application work independently. Hence we need to connect systems via electronic.

4.4.2 Solution of Challenge

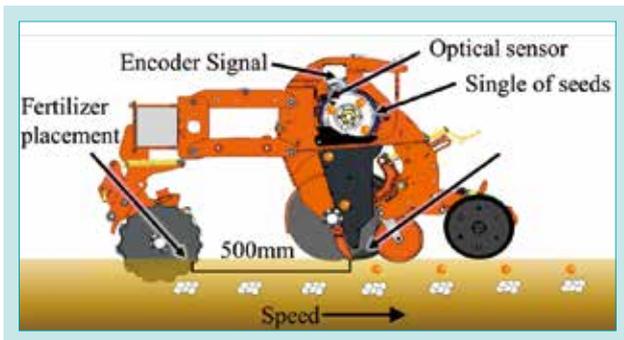


Fig. 17 Synchronizing Principle
図 17 同期原理

The synchronization process starts with the optical sensor that scans the seeds when it comes off the singling disc. To calculate the placement of seed we need to add duration from scanning until it sits in the furrow (Fig. 17). Precondition is an absolute precise placement of seeds like Optima SX is providing. We have a similar process in the fertilizer system; here it is the time from opening pneumatic valve until the fertilizer is completely in the furrow. Because fertilizer coulter is fitted in front of seed outlet, a delay time for the distance between both positions is included. At the end, all dead times of the system are added. Different speed or spacing are detected through the frequency of seeds scanned by the optical sensor. Soft and Hardware development leads to precise synchronization of seed and fertilizer (Fig. 18).



Fig. 18 Positioning Seed and Fertilizer with PUDAMA
図 18 Pudama による圃場試験結果

5. Conclusion

Farming is currently facing significant tension and criticism, particularly in regards to the excessive consumption of fertilizers and brown energy consumption. Pudama has developed innovative solutions to address these issues and promote sustainability. Pudama is an excellent example how to improve the situation. Pudama changes the fertilizer application method where each individual seed receives a specific portion of fertilizer instead of having a continuous band of fertilizer along the maize seeds. This method saves 25 % of fertilizer at 100 % yield. The key to Pudama design is the generation of fertilizer portions and quick release to achieve a defined spot of fertilizer. Kverneland patented the unique valve mechanism, in the form of a brush with a funnel-like shape. This unique idea is extremely reliable and neither fertilizer nor acids make any harm to the brush itself or its function. This technique allows 25 portions/s respectively, enabling a seeding speed of 16 km/h. The additional cost for Pudama will be paid off after two years. Based on the fiscal life time of the machine and depending on fertilizer cost, application rate and total hectares, the farmer saves 40 000 €. Pudama is unique on the market. Hence Kverneland plans to increase sales of Optima precision seeders by 20 % long term. The project was done in cooperation with Cologne University of Applied Sciences.

Contribution to SDG Targets

- 2.4 Ensure sustainable and resilient agricultural practices Sustainable food production system with increasing agricultural productivity and income.
- 12.5 Substantially reduce waste generation Reduce waste generation through reduction using brown energy.

[Reference]

Entwicklung eines Verfahrens zur punktuellen Düngerapplikation bei der Maisaussaat, Dissertation Max Bouten 2020
<https://ien.kverneland.com/News/Product-news/PUDAMA-High-Yield-with-Less-Fertiliser-in-Maize-Sowing>
<https://www.umwelt.nrw.de/NRW-für-neuartige-und-umweltschonende-Einzelkornsämaschine-Effizienzpreis-NRW>
 (effizienzpreis-nrw.de)

水道管路状態監視用機器「ウォーターパイプコム」の開発

Development of “WATER PIPE COM”, Equipment for Monitoring in Water Pipe

パイプネットワーク技術部／パイプシステム品質保証部
水環境研究開発第二部

現在、多くの水道事業者が、計画、工事、維持管理等に関する各種業務の効率化に取り組んでいる。これらの業務の中から特に管路の維持管理業務に着目し、水道事業者へのヒアリング等で課題の抽出と対策の検討を行った。その結果、管内の状態把握が課題の一つとなっており、水理(流向・流速、水圧)、水質(残留塩素濃度、濁度、水温)等の管内情報の見える化を図ることができれば、維持管理業務の効率化につながる事がわかった。これを実現するためには、できるだけ多くの地点で水道管路の管内情報を測定しデータを一元管理することが必要である。そのため、水道管路で多く使用されている弁類の有効活用を検討し、水道用ソフトシール仕切弁にセンシング機能を内蔵した機器(製品名:ウォーターパイプコム)及びそれに関連する通信機器の開発を行った。

【キーワード】

状態監視、多点測定、ソフトシール仕切弁、センサ設置部、センサメンテナンス工法、流向・流速センサ、通信端末

In an ongoing effort to enhance operational efficiency across various stages of their operations, including planning, construction, and maintenance management, water utilities are constantly seeking innovative solutions. Among these tasks, we have focused specifically on pipeline maintenance and management, conducting in-depth interviews with water utilities to identify key challenges and potential countermeasures. Consequently, a critical challenges identified is the need to garner a deeper understanding of the internal conditions of pipelines. By visualizing information such as hydraulics (flow direction, velocity, and water pressure) and water quality parameters (residual chlorine concentration, turbidity, and water temperature), water utilities can significantly improve the efficiency of their maintenance activities. To achieve this objective, it is essential to gather comprehensive pipeline data from multiple points and manage it centrally.

With this in mind, we are exploring the potential of valves, which are ubiquitous components in water pipelines. We are currently developing a device with an integrated sensing function for resilient seated sluice valves (product name: WATER PIPE COM) and associated communication equipment.

【Key Word】

Monitoring, Multi-Point Measurement, Resilient Seated Gate Valve, Sensor Installation Part, Sensor Maintenance Method, Flow Direction/Velocity Sensor, Communication Device

関連する SDGs



1. はじめに

現在、水道事業者では、給水人口を多く抱えるエリアに流入する管路等、重要とされる地点を中心に流量計や水質監視装置を設置し、日々の状態監視を行っている。これらの機器は、高価で設置台数が限られることから、管路の拠点に関するデータ取得に限

定され、エリア全体の状態を詳細に把握できていないケースが大半とされている(図1)。一方で、できるだけ多くの箇所にセンサを設置し、取得した多くのデータを解析すれば、その傾向から管内状態を詳細に把握することができるが、以下の点が課題となっている。

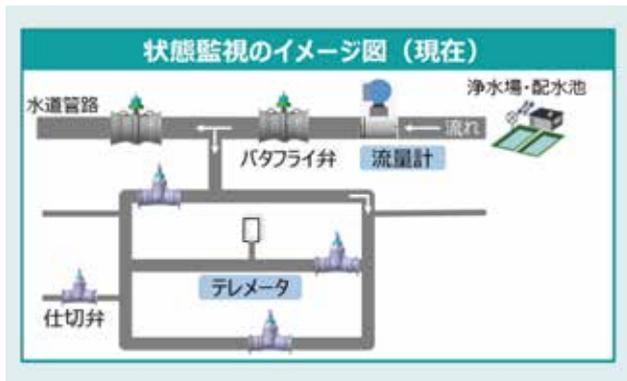


図1 状態監視のイメージ図（現在）

Fig. 1 Image Diagram of Status Monitoring (Current)

- (1) 既存のセンサ(特に流量計)は、設置の際は専用の測定室を築造、かつ測定には商用電源が必要となるため、予算の面から多点に設置することが難しい。
- (2) 既存のセンサは、機器自体が高額であることに加え、断水などを伴う大掛かりなメンテナンスが必要となるので、維持管理の面から多点に設置することが難しい。
- (3) 測定点を増やしても、管路全体のデータ管理を行うツールがなく、見える化を図れない。

これらの課題解消に向けて、水道用バルブ製品を活用することに着目した(図2)。具体的には、①水道用バルブの設置箇所(多点・省スペース)で管内情報のセンシング・通信が可能、②既存製品より安価な流向・流速センサを独自に開発、③通信データはクラウドサーバで一元管理することを検討した。

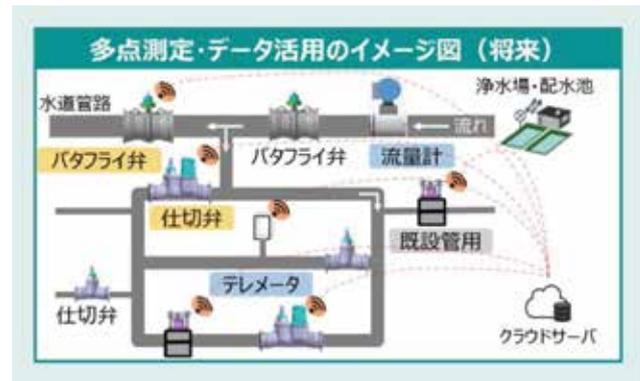


図2 多点測定・データ活用のイメージ図（将来）

Fig. 2 Image Diagram of Multi-Point Measurement and Data Utilization (Future)

このたび、ソフトシール仕切弁にセンサ設置部を設け、弁設置箇所でも流向・流速、水圧、水温等のセンシング・データ通信が可能、水圧下でセンサ類の交換・点検を行うことができる水道管路状態監視用機器ウォーターパイプコム(図3)を開発したので、その内容について報告する。



図3 ウォーターパイプコム

Fig. 3 WATER PIPE COM

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

多点測定による見える化を早期に実現するため、ウォーターパイプコムの開発コンセプトを以下のとおり設定した。

- (1) ソフトシール仕切弁を活用したセンシング
管内情報を多点から得るには、既存の電磁流量計やテレメータといった測定機器よりも、安価に設置・測定できることで設置箇所数を増やす必要がある。そこで、水道管路に多く設置されているソフトシール仕切弁をセンシングポイントとして活用する。
- (2) 簡易構造かつ安価な流向・流速センサによるトレンド把握
高精度な測定が可能なセンサは高額なものが多く、それらを搭載すると前述の製品コンセプトに合わなくなる。そこ

で、既存のセンサ(電磁流量計等)に比べ、安価で測定精度はやや劣るもののトレンド把握は可能な簡易構造の流向・流速センサを開発する。同時に、水圧下・道路上から容易にメンテナンスが可能な工法も開発する。

- (3) 無線によるデータ通信

水道用バルブとセットで設置されるバルブボックスのスペースを有効活用するため、バルブボックス内に設置し、商用電源が不要で測定・通信が可能な通信端末を開発する。また、リアルタイムでデータを閲覧するため、センシングしたデータをクラウドサーバに転送し、一元管理可能なシステムを構築する。

2-2 目標値

上述したコンセプトの実現のため、開発目標を下記のとおりとした。ウォーターパイプコム本体部、流向・流速センサ、無線通信の開発目標を表1～3に示す。

表1 ウォーターパイプコム本体部の開発目標

Table 1 Development Objectives for WATER PIPE COM Body

項目	開発目標
形式	耐震型(GX形)両受タイプ
呼び径	75～250
全長	現行GX形両受ソフトシール仕切弁 +300 mm以内 (標準サイズのパルプボックスを適用可能とするため決定した。)
適用部品	センサ部を除いて現行製品と共通

表2 流向・流速センサの開発目標

Table 2 Development Objectives for Flow Direction/Velocity Sensor

項目	開発目標
構造	コンパクト形状、挿入式
コスト	既存の電磁流量計の10%以下 (電磁流量計価格は当社調べ)
メンテナンス	道路上から簡単な作業でメンテナンス可能
測定精度	0.4 m/s未満: ±0.02 m/s未満 0.4 m/s以上: ±5%未満 (ヒアリング結果をもとに決定した自社基準)

表3 無線通信の開発目標

Table 3 Wireless Communication Development Objectives

項目	開発目標
設置場所	バルブボックス内
駆動方式	バッテリー(10分間隔の測定・通信で1年間の容量)
通信	バルブボックス内から通信可能 (土砂流入・積雪の条件下で通信可能)
データ管理	通信環境が不安定な時間帯も測定データを保持

3. 解決すべき技術課題

(1) ウォーターパイプコム本体部

ウォーターパイプコム本体部は、バルブとしての止水性能を維持した上で、新たにセンサ設置部を設ける必要がある。センサ設置部は、センサ類の収納が可能、メンテナンスが可能で大ききとする必要があるが、製品の全長が大きくなりすぎると、一般的に流通しているバルブボックスの適用が困難となる。そのため、基準寸法内に収めることが課題となる。

(2) 流向・流速センサ

安価なセンサを実現するため、コンパクトかつシンプルな部品構成で流速を測定する必要がある。また、常時接水環境にあるため、長期間の安定した測定を実現する防水保護

の適用が求められる。加えて、流向・流速センサのメンテナンスは、水運用を止めることなく道路上から速やかに行えることが求められる。

(3) バルブボックス内からの無線通信

通信方式を決める際の基礎試験において、バルブボックス内からの通信は鉄蓋の影響により電波強度が低下することを確認している。また、電波強度は鉄蓋との位置関係で変動することもわかっており、通信が安定しやすい通信方式と設置位置を適用することが求められる。また、想定される環境下(積雪、土砂流入、水没等)でデータ欠損しないことが必要となる。

4. 開発技術

4-1 ウォーターパイプコム本体部

製品の低コスト化及び部品の互換性を図るため、GX形両受タイプの現行製品(図4)の部品類を適用し、弁本体部と継手部の間にセンサ設置部を追加する構造を採用した(図5)。センサ設置部の大きさは、保護カバー、センサ設置用治具等の共用化を図るため、呼び径75～150、呼び径200～250の2種類とした。

① 長手方向寸法(図5・A寸法)

設置するセンサは、呼び径によらず共通サイズとしている。そのため、センサ設置部の長手方向寸法は、センサ類の

収納とメンテナンスの作業性から、各呼び径一律で190 mmとした。

② 幅方向寸法(図5・B寸法)

呼び径75～150は、長手方向と同様にセンサ類の収納とメンテナンスの作業性から必要最小寸法の222 mmとした。一方、呼び径200～250ではB寸法を小さくすると铸造性が低下する複雑形状となるため幅寸法を350 mmの設計とした。



図4 現行のソフトシール仕切弁
Fig. 4 Current Resilient Seated Gate Valve

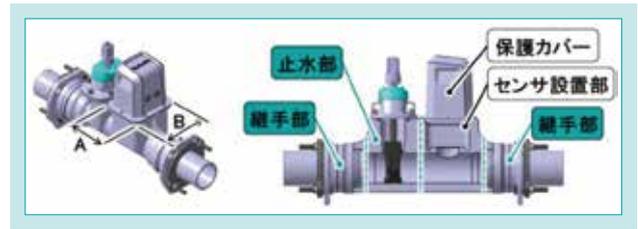


図5 センサ設置部の大きさ
Fig. 5 Size of Sensor Installation Part

4-2 流向・流速センサ

4.2.1 流向・流速センサの仕様

流向・流速を検知する機構は、流速負荷によりプレートに発生するひずみから流速を算定する、プレートひずみ検知構造を採用した。また、長期間安定した測定を実現するため、ひずみゲージの防水対策として、保護材を4重に覆う構造とした(図6)。

プレートに発生するひずみの大きさは、流速による影響が大きく、低流速域の感度と高流速域の強度を両立する観点から、3種類のセンサを開発し流速条件により使い分けすることとした。また、コストについても開発目標以内で製作できることを確認した(表4)。

4.2.2 流向・流速センサの精度

呼び径100のウォーターパイプコムに流向・流速センサを取付けた試験管路で通水試験を行い、同一管路に設置した電磁流量計の測定値との比較により流向・流速センサの精度を評価した。試験の結果、全てのセンサ(低流速用・

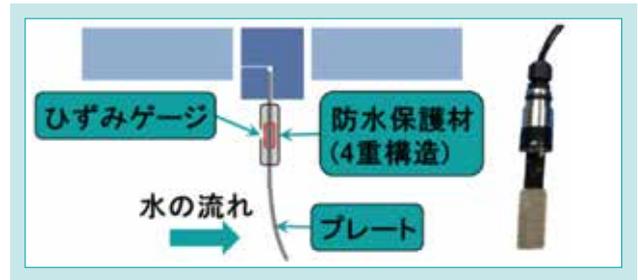


図6 開発した流向・流速センサの構造
Fig. 6 Structure of Developed Flow Direction/Velocity Sensor

表4 流向・流速センサ仕様
Table 4 Specifications of Flow Direction/Velocity Sensor

センサ仕様	測定可能範囲	測定誤差	コスト
低流速	0.05~0.5 m/s	・0.4 m/s未満 ±0.02 m/s未満	既存の電磁流量計価格の6%
中流速	0.2~1.8 m/s	・0.4 m/s以上	
高流速	0.4~3.0 m/s	±5%未満	

中流速用・高流速用)において目標精度を満足することを確認した(図7)。

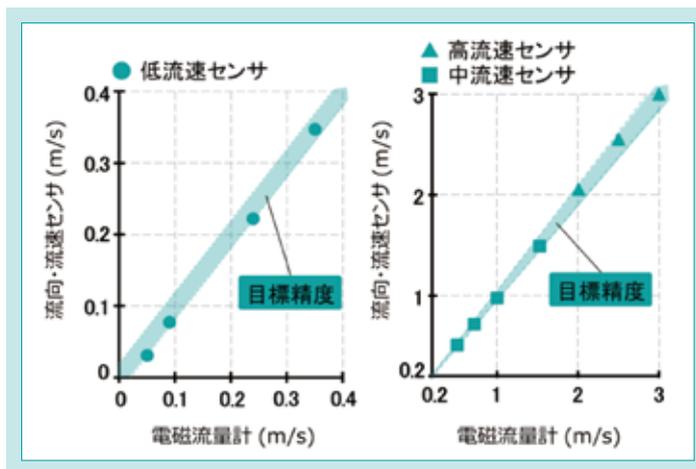


図7 流速測定結果
Fig. 7 Flow Velocity Measurement Results

4.2.3 センサメンテナンス工法

水圧下・道路上から速やかにメンテナンスを行うために以下の工法を開発した(図8)。

①管内水圧を遮断する機構

センシング時には管内と導通し、メンテナンス時に管内と

遮断できる機構としてボール弁を採用した。具体的には、センシング時はボール弁を開とすることで、センサがボール弁内部を通り管内に挿入可能となり、メンテナンス時はセンサをボール弁位置より上部に引上げボール弁を閉とす

ることで管内水圧が遮断されメンテナンスが可能となる。

②センサを速やかに付け外しする機構

センサを速やかに付け外しするための専用治具を開発した。治具構造は、本体側の治具設置部に治具(A)を設置し、

その中を通り治具(B)をセンサに取付ける。治具(A)の内周面に設けたネジ機構により、センサ取外し時は水圧による抜け出し力を受けながら、センサ取付け時は水圧に逆らいながら安全かつ速やかにセンサの付け外しが可能となった。

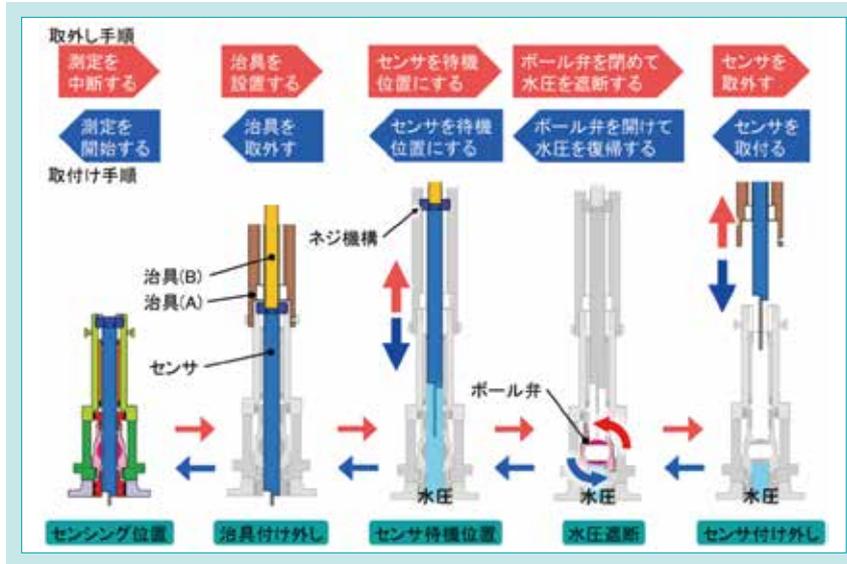


図 8 センサメンテナンス手順
Fig. 8 Sensor Maintenance Procedures

③フィールド試験結果

開発したメンテナンス工法の有効性を検証するため、実管路で確認試験を行った(図9)。バルブボックスの外から作業を行い、管内水圧0.6 MPaの条件で目標とした20 min以内で外部

漏水なくメンテナンス作業が可能であることを確認した(表5)。

表 5 センサ交換試験結果

Table 5 Test Result of Sensor Replacement

試験条件	目標	結果
水圧 0.6MPa	外部漏水 100 mL/min以下	0 mL/min
作業スペース 直径 600 mm/深さ 860 mm	作業時間 20 min以内	19 min



図 9 センサメンテナンス試験状況
Fig. 9 Sensor Maintenance Test Status

4-3 無線通信

4.3.1 通信端末の仕様

通信端末の仕様を表6に示す。

無線通信方式は少ない電力で広い範囲で通信が可能なLPWA方式の中からLTE-M方式とLoRaWAN方式を選び、これらを対象にバルブボックス内からの通信基礎試験を行い、良好な結果を得たLTE-M方式を採用した。また、コンパクト化を図るため、バッテリー駆動方式とした。通信環境の悪化を想定し、約2週間分(10分間隔測定時)のデータを通信端末内に保持できる仕様とした。

表 6 通信端末仕様

Table 6 Specifications of Communication Device

項目	仕様
通信方式	LTE-M
大きさ(mm)	W201 × D201 × H161
駆動電源	一次電池:塩化チオニルリチウム電池 (3.6V × 4本/unit × 4unit、17Ah)
保護等級	IP65
測定・通信モード	1)定時刻モード 2)定周期モード
測定期間	10分間隔測定で1年間
通信環境悪化時のデータ保持数	10分間隔測定で約2週間分のデータ保持が可能

4.3.2 通信端末の設置構造

バルブボックス内からの通信は、通信端末の設置位置に

より電波強度が変化する。そのため、バルブボックス内での通信端末設置位置と電波強度の関係を基礎試験により調査し、通信端末の標準設置位置(鉄蓋孔の真下、深さ200 mm)を決めた。通信端末は深さと円周方向の位置を調整できる機構

(ブラケット)に取付け、標準設置位置から現地の電波強度に応じて設置深さと円周方向の位置を調整可能とした。これにより、各設置場所において、電波強度が最も高い位置に通信端末を設置できるようにした(図10)。

4.3.3 バルブボックス内環境の影響

バルブボックス内の環境が通信状況に及ぼす影響を調査した。図11に示す通り、バルブボックス内が土砂で埋め尽くされた場合、鉄蓋上部が雪で覆われた(深さ250 mm)場合につい

て、通信可能であることを確認した。一方、バルブボックス内が水没した場合は通信不可となったが、水没が解消しデータ通信が再開した後に、全てのデータが回収できることを確認した。

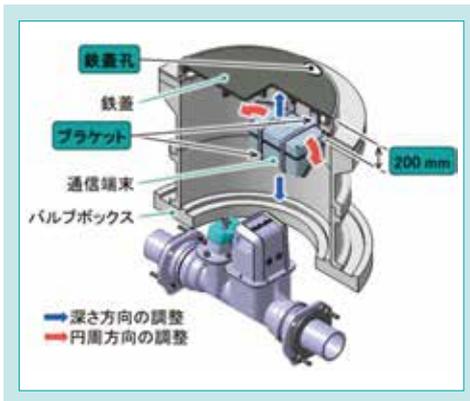


図10 通信端末の設置

Fig. 10 Installation of Communication Device



図11 通信環境試験

Fig. 11 Communication Environment Test

5. おわりに

上記のとおり開発を進め、ウォーターパイプコムの製品化を行った。本製品の特長を以下にまとめる。

- (1) 既存の耐震型ソフトシール仕切弁にセンサ設置部を設け、管内情報をセンシング可能とする。
- (2) 流向・流速センサは、安価で提供することが可能なプレートひずみゲージ方式とし、4重構造の防水保護により耐水性を確保する。また、流速の測定精度は、各ターゲット流速域において、目標値(0.4 m/s未満:±0.02 m/s、0.4 m/s以上:±5%)を満足し、コストも開発目標を満足した。
- (3) センサメンテナンスは、センシングスペース及び専用治具の開発により、水圧下かつ道路上から作業可能である。また、センサ交換に要する時間は目標値(20 min)以下である。
- (4) 測定したデータはバルブボックス内に設置した通信端末か

らクラウドサーバに通信する。通信端末の設置位置は、鉄蓋による電波強度の減衰を抑えるため、現地で調整可能とする。

本製品は、令和4年度全国会議(水道研究発表会)にて発表し、現在多くの水道事業体に興味を示していただいている¹⁾。

今後、本製品の普及が進むことによって、多点での管内情報を取得することが可能となり、それらを管網解析と連携させることでリアルタイムでの状態監視精度を向上させることが期待できる。状態監視精度の向上が実現すれば、管内のあらゆる地点の詳細情報を正確に知ることができるようになるので、水道事業体の業務の効率化や省人化に対して更に貢献できるものと考えている。

今後も管内情報の見える化に寄与する開発を行い、水道事業者が抱える維持管理業務の課題解決に貢献していく所存である。

SDGsのターゲットへの貢献

6.1 安全で安価な飲料水のアクセス強化 管内の状態監視による早期の異常検知により安全な飲料水の提供に貢献

9.1 質の高い持続可能な強靱なインフラの開発 管内の見える化によりきめ細やかな水運用の実現に貢献

参考文献

- 1) 西野真依子ほか:「管内情報をセンシング・通信可能な水道用バルブの開発」令和4年度全国会議(水道研究発表会)、pp.332-333

MBR用ロータリーパネルフィルターの開発

Development of Rotating Panel Filter for Membrane Bio-Reactor

水循環プラント設計部／膜システム部
水循環プラント技術部

膜分離活性汚泥法(MBR: Membrane Bio-Reactor)は省スペースで高度な処理水が得られるが、安定運転のためには適切な前処理が重要である。しかし既存の前処理技術として国内下水で多く使われている1 mm バースクリーンは、し渣が多い下水に対しては除去能力が不十分であり、し渣が膜分離装置に付着し機能を低下させるケースがある。そこでクボタではし渣除去率が高く省スペース、低コストなスクリーンを開発した。省スペース性と高い除去率の両立のためスクリーン素材としてメッシュを採用し、支持枠との一体構造や高圧洗浄機能の採用により耐久性、機能持続性を確保した。本機の導入により下水中のし渣が多い処理場であっても、安定したMBR運転が期待できる。

【キーワード】

膜分離活性汚泥法、MBR、下水処理、微細目スクリーン、ロータリーパネルフィルター

Membrane Bio-Reactor (MBR) produce high-quality effluent while requiring a relatively small footprint. However, stable operation of MBR depends on effective pretreatment. Although 1-mm spacing bar screens have been widely employed as MBR pretreatment in Japan, their limited debris removal capability can lead to the accumulation of debris on the membrane, compromising its performance. To address this challenge, KUBOTA has developed a novel screening system for MBR that offers superior debris removal, space efficiency, and cost-effectiveness. This innovative system utilizes mesh material as a screening element, achieving both high removal efficiency and high throughput. The combined structure of the mesh and support frame ensures extended screen life, while the integrated high-pressure cleaning system maintains filtration sustainability. By employing this advanced screening system, MBR operations can be stabilized even for sewage treatment plants faced with high debris concentrations in their influent.

【Key Word】

Membrane Bio-Reactor, MBR, Sewage Treatment, Micro Screen, Rotating Panel Filter

関連する SDGs



1. はじめに

膜分離活性汚泥法(以下「MBR」という。)は省スペースで高度な処理水が得られる排水処理方式であり、これまで国内外の工場排水処理や下水処理等で広く採用されてきた。国内下水市場では計31箇所(2023.9建設中含む)に導入されており、クボタグループはそのうち19箇所、水量ベースで95%以上と高いシェアを維持している。

MBRでは膜分離装置にし渣など夾雑物が付着しないよう前処理でそれらを十分除去しておくことが重要である。国内下水MBRでは前処理として一般的に目幅1 mm のバースクリーンが採用されているが、し渣の付着による膜分離装置の能力低下が課題となるケー

スがあり、し渣除去率が高い前処理技術の開発が必要となった。

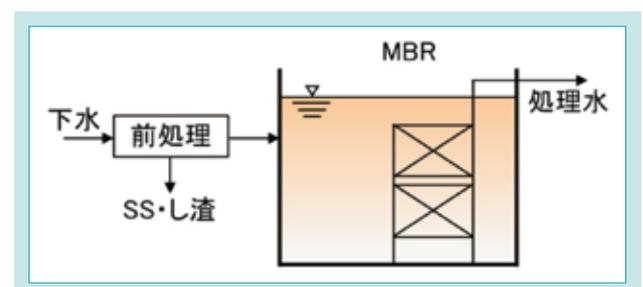


図 1 MBR フロー
Fig. 1 MBR Process

2. 開発のコンセプト

2-1 既存技術の問題点

MBRでは低コストな前処理が求められており、目幅1 mmのバースクリーンが採用されるケースが一般的だが、その構造上、繊維状のし渣^{※1}は捕捉率が低い。下水の性状や濃度は地域により異なるが、下水中に多量のし渣が含まれるケースでは1 mm バースクリーンで捕捉しきれないし渣が生物反応槽内で塊状に成長し、それが膜分離装置に付着することで膜ろ過性能を低下させる例¹⁾が稀にみられる(図2)。塊状のし渣が継続的に膜面をこすることで膜が損傷するなど、し渣除去が不十分だと考えられる事例も報告されている。図3に1 mm バースクリーンを導入している某下水処理場(以下「A処理場」という。)でのし渣除去率測定結果を示すが、平均43%に留まっている。

下水中のし渣を1 mmバースクリーンよりも除去できる前処理スクリーンとしてはφ2 mm の穴が多数あいた水路設置型のスクリーンなどが従来からあるが、高コストで、また設置場所が水路に限られるといった課題があった。

※1 下水を目開き2 mm のふるいにかけた際の残渣



図2 し渣付着状況(膜分離装置下部)

Fig. 2 Filamentous Debris Attached to the Bottom of a Membrane Block

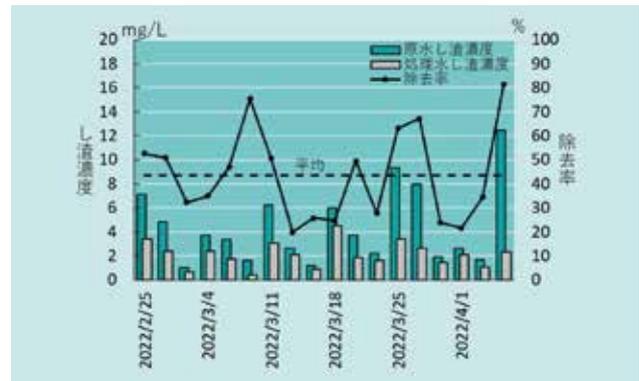


図3 1 mm バースクリーンし渣除去率

Fig. 3 Debris Removal Rate of 1-mm Spacing Bar Screen

2-2 装置のコンセプト・概要

上記の問題点を解消するため、省スペースでし渣の除去率が高く、低コストな「ロータリーパネルフィルター」を開発した。省スペース性はプラントに適用した際の土木工事のコストダウンにも寄与する。また処理プロセスに応じた除去ニーズに応えるため、微細目と超微細目という目幅の異なる2種類のスクリーンを用意することとした。

図4、図5に開発機の模式図及び外形図を示す。開発機は無終端に接続したスクリーンを回転しながら下水中のし渣を除去する構造とした。スクリーンで捕捉されたし渣は洗浄水とともに系外に排出される。処理水はスクリーンが形成する

輪の内部から装置外へ排出される。

表1に目標除去率を示す。し渣に加え、より目幅の細かい超微細目スクリーンに対しては、後段の水処理における負荷を低減するためSS除去率も項目として設定した。

表1 目標除去率

Table 1 Target on Removal Rate

項目	微細目	超微細目
し渣除去率	平均90%以上	平均90%以上
SS除去率	—	平均20%以上

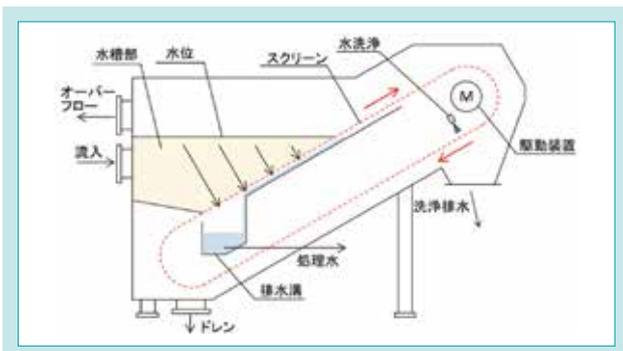


図4 ロータリーパネルフィルター(模式図)

Fig. 4 Rotating Panel Filter (Internal Structure)

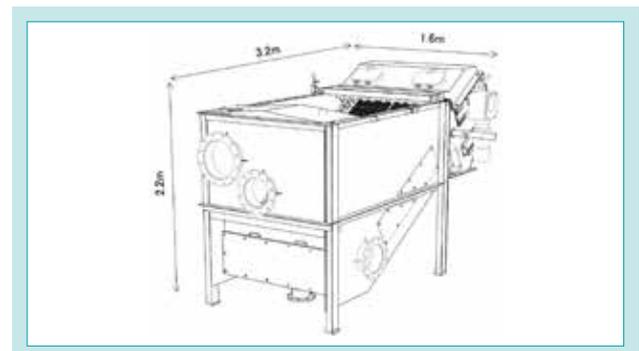


図5 ロータリーパネルフィルター(外形図)

Fig. 5 Rotating Panel Filter (Perspective)

3. 解決すべき技術課題

3-1 スクリーン設計

スクリーンは流入するものをサイズによってふるい分けるが、通過性すなわち処理量と、阻止性すなわち除去率にはトレードオフの関係があり、コンセプトである省スペース性と高

い除去率の両立は容易ではない。高い除去率を得るにはスクリーンの目幅を小さくすればよいが、処理量の確保をあわせて行うため下水に最適なスクリーン設計が必要であった。

3-2 スクリーン速度制御

下水処理場に流入する下水の流量や濃度は時間帯により大きく変動する。図6にA処理場の流入変動を参考に示す(流入量は2019/7~2020/6の平均、SS濃度はその間の3/25~3/26の24時間で測定)。1時間あたり流入量は3倍以上、また水質の指標である流入SS濃度も2倍以上変動している。

流入変動が大きいことから、最大負荷に合わせた一定速度運転には次の問題がある。1つは低負荷時に低速にせず一定速度で運転すると過大な動力を消費することであり、もう1つはSSやし渣の流入量が少ないとスクリーンの単位面積上に捕捉されるSS、し渣の層が薄くなり、その結果除去性能が低下することである。これらに対応するため流入変動に応じたスクリーン速度制御を実現する必要があった。

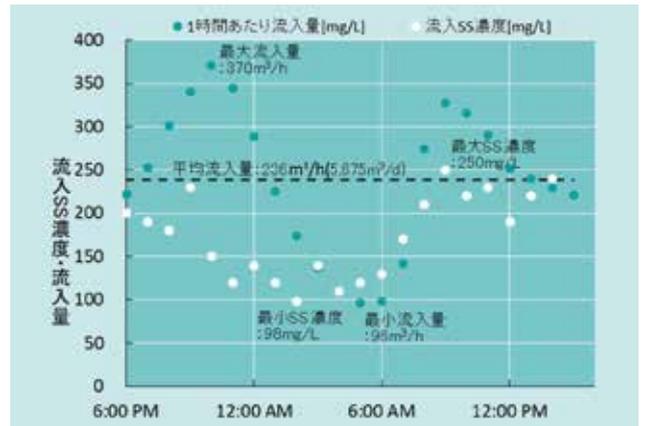


図6 1日の流入パターン及び流入水質変動
Fig. 6 Pattern of Influent Rate and Quality for One -Day Period

4. 開発技術

4-1 実証試験概要

開発に際し机上検討や台上試験などを行いながら基本設計を確定したが、上述の課題を含め実際の下水を使わないと検証できない項目もある。そこでA処理場にご協力いただき、施設内で実証試験を行った。実証試験の外観を図7、フローを図8に示す。処理場の本来のフローは沈砂池からの下水を分配槽、1mmバースクリーンを経由してMBRへ送るというものだが(図8の一点鎖線部分)、実証試験は分配槽から下水の一部を連続的に使用するフローとした。設定流量は設備の制約上94 m³/h (日量換算2256 m³/日)とした。



図7 実証試験外観
Fig. 7 Test Plant

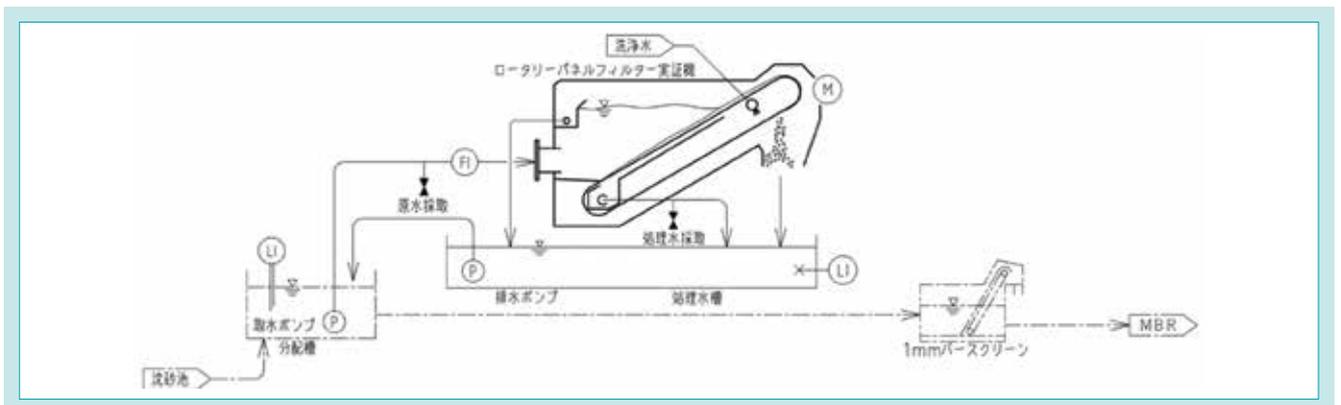


図8 実証試験フロー
Fig. 8 Test Plant System

水・環境部門

2

MBR用ロータリーバネルフィルターの開発

4-2 スクリーン設計

4.2.1 スクリーン素材の選択

処理量と除去率の両立のため、目幅に加えて開口率に着目した。表2にスクリーン素材の候補として選定したバースクリーン、パンチングメタル、メッシュを比較する。

バースクリーンは幅方向には目幅を小さくできるが、バー長さ方向の開口寸法は大きい。そのため繊維状のし渣は通過してしまう。

パンチングメタルとメッシュの比較では同じ目幅同士で比較するとメッシュは開口率が高い。例えば近い寸法の代表的なもの同士で比較すると、穴径0.63 mm、ピッチ1.22 mm、60°チドリ配列のパンチングメタルの開口率が24%なのに対し、目幅0.56 mm、線径0.29 mmのメッシュだと43%となる。その分メッシュの方が単位面積当たりの通過水量が多くなり省スペース性と高い除去率を両立できるため、スクリーン素材としてはメッシュを選択した。

4.2.2 スクリーン素材の耐久性向上

メッシュは線径が小さい線材で構成されるため、バースクリーン(棒材)やパンチングメタル(板材)と比べて耐久性の確認がより重要である。

実際に海外製他社機の事前調査でメッシュが破断し除去機能が損なわれている事例が確認された。メッシュは水圧を受けながらもシート形状を維持する必要があるが、メッシュ自体には剛性がないため下部に支持枠が必要である。破断が確認された事例では支持枠は装置フレームに固定されており、メッシュは300~700 mmAqの水圧を受けながら支持枠の上を移動する構造だった。メッシュが支持枠との間で摺動した結果、摩擦したと思われる。

対策として開発機では分割したメッシュと支持枠を接合したメッシュパネルを無終端に配置することでスクリーンを構

4.2.3 支持枠の強度向上

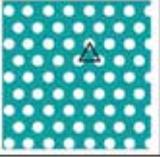
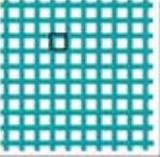
メッシュは支持枠に接合することで補強したが、支持枠自体の強度も確保する必要がある。

実証機を用いた測定結果から、支持枠にかかる荷重としては水圧に加えその下部に配置した樹脂ルールとの間の摩擦も無視できない大きさであることが分かった。

支持枠は両端で駆動チェーンと接続するが、その接続部に水圧と摩擦力を受けるためのリブを設ける設計とした。水圧と摩擦力が複合された複雑な荷重がかかるため、解析センターで構造解析を行い、十分な強度を有することを確認した(図10)。

表 2 スクリーン素材比較

Table 2 Comparison Between Screen Materials

バースクリーン		
バー幅[mm]	2	
目幅[mm]	1	
単位パターン面積[mm ²]	9.00	
単位パターン内開口面積[mm ²]	3.00	
開口率[%]	33	
パンチングメタル		
穴径[mm]	0.63	
穴ピッチ[mm]	1.22	
単位パターン面積[mm ²]	0.64	
単位パターン内開口面積[mm ²]	0.16	
開口率[%]	24	
メッシュ		
線径[mm]	0.29	
目幅[mm]	0.56	
単位パターン面積[mm ²]	0.72	
単位パターン内開口面積[mm ²]	0.31	
開口率[%]	43	

成し(図9)、メッシュと支持枠の間の摺動や摩擦を排除した。

またメッシュ素材は他社機では樹脂だったが開発機ではステンレスとし、素材自体の強度面でも耐久性の向上を図った。



図 9 スクリーン外観

Fig. 9 Belt-Like Arranged Screens

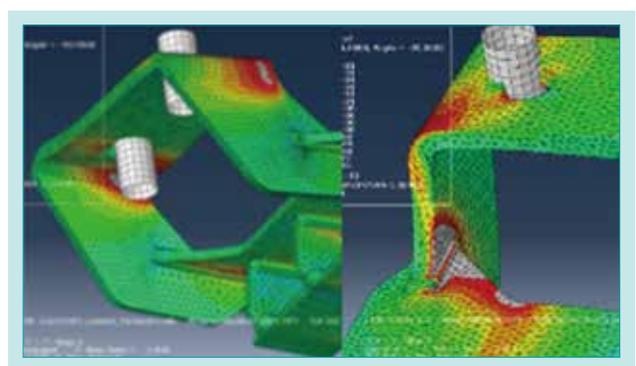


図 10 メッシュ支持枠構造解析(解析センター)

Fig. 10 Structural Analysis of Mesh Support Frame (Analysis Center)

4.2.4 高圧洗浄機能

メッシュは線材で構成されるため髪の毛やトイレペーパーを構成する短繊維など繊維状のし渣が付着しやすく、また一旦付着した繊維は容易には除去されない。図11にメッシュにし渣が付着した様子を示す。最終的には繊維分の蓄積によりメッシュが閉塞し、運転が継続できなくなる。そのため最小限の洗浄水量で繊維分を蓄積させないための対策が必要であった。

そこで繊維状のし渣のメッシュへの付着対策として、通常の洗浄に加えて間欠的な高圧洗浄機能を追加することとした。除去効果を高めるため単位幅あたりの洗浄打力に着目してノズルの選定を行った。洗浄打力とは水が対象物に当たる際の力のことである。また噴射水が当たる幅はノズルと対象物の距離及び噴射水の広がり角度により決まるため、単位幅あたり洗浄打力は以下の式で計算することができる。

$$\text{洗浄打力[N]} = 0.745 \times \text{流量[L/min]} \times \sqrt{\text{圧力[MPa]}}$$

$$\text{噴射幅[mm]} = \text{噴射高さ[mm]} \times \tan(\text{噴射角度} \div 2) \times 2$$

$$\text{単位幅あたり洗浄打力[N/cm]} = \text{洗浄打力[N]} \div \text{噴射幅[cm]}$$

表3に候補として選定したノズルを比較した。噴射水が扇形状に広がるノズル(案1)に比べ、噴射水が直進するノズル(案2)は単位幅あたり洗浄打力が高い(※1)。しかし洗浄水幅が狭いため(※2)、スクリーン全体を洗浄するには多くのノズルを設置するか、ノズルを移動する機構が必要になる。一方、水圧により洗浄方向が旋回する構造を内蔵する直進回転ノズル(案3)であれば洗浄範囲を広くすることができ(※3)、複雑な構造を用いることなく高い洗浄効果と広い洗浄範囲を両立することができる。

この高圧洗浄を実証機に搭載し、繊維分除去性能を確認した。図12は高圧洗浄直後のスクリーン面だが、細かい繊維分まで除去できている。



図 11 メッシュへの繊維の付着
Fig. 11 Sticking Fibril onto Mesh

表 3 高圧洗浄ノズル比較

Table 3 Comparison Between High Pressure Spraying Nozzles

項目	常時洗浄用ノズル	高圧洗浄ノズル(間欠)		
		案1	案2	案3
噴射形状/タイプ	扇形	扇形	直進	直進回転
噴射圧力	中圧	高圧	高圧	高圧
MPa	1.5	4.5	4.5	4.5
噴射量	L/min	5	5	5
噴射角度	度	100	15	8
回転角度(頂角)	度	—	—	33
洗浄打力	N	4.6	7.9	7.9
噴射高さ	mm	32	150	150
洗浄水幅	mm	76	40	20
洗浄範囲(幅)	mm	76	40	20 ※2
単位幅あたり洗浄打力	N/cm	0.61	1.98	3.95 ※3
噴射形状				



図 12 高圧洗浄後のスクリーン面
Fig. 12 Surface of Screen After High Pressure

4 - 3 スクリーン速度制御

4.3.1 流入変動への対応

流入変動に応じたスクリーン速度とするため、図4の水槽部の水位を一定にするフィードバック制御を組み込んだ。SSやし渣の濃度が低くなると、スクリーン面上に形成されるSS、し渣の層は薄く、下水の透過量は増加、水位は低下する方向に変化する。この水位変化を捉えることで、流入変動に応じたスクリーン速度とすることができる。

図13にスクリーン速度及び水位制御の記録を示す。SS濃度が低いとき水位を一定にするようにスクリーン速度が遅くなっている(図13黒囲い部、流量は65 m³/h 一定)。

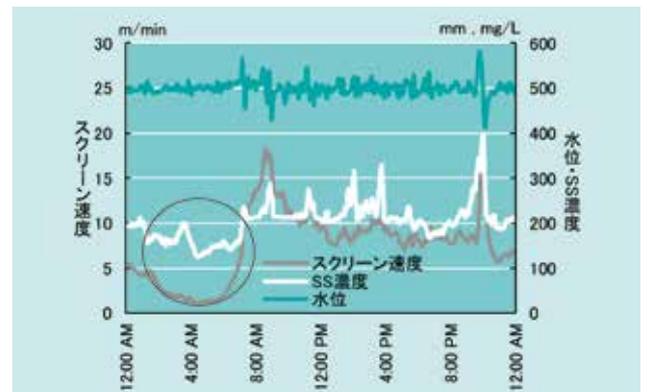


図 13 スクリーン速度による水位制御
Fig. 13 Trend of Water Level Controlled by Screen Speed

4.3.2 除去性能の確認

水位一定制御を組み込んだ実証機で、微細目と超微細目のスクリーンを取替えながらそれぞれの除去性能を確認した。また複数日、時間帯を変更しながら測定することで流入変動への適応性を確認した。

図14に微細目でのし渣除去率を示す。し渣濃度は原水が1.7~11 mg/L(9/28は天候に由来する異常値)なのに対し、処理水は0.070~0.44 mg/Lであった。平均除去率は95%となり、目標である90%以上を達成した。超微細目に関してはSS除去率を図15に、し渣除去率を図16に示す。し渣濃度は原水1.2~8.3 mg/L、処理水0.070~0.46 mg/Lであり、平均除去率は95%、SS濃度は原水84~340 mg/L、処理水54~220 mg/L、平均除去率は44%となり、いずれもそれぞれの開発目標である90%以上、20%以上を達成した。測定の時間帯によ

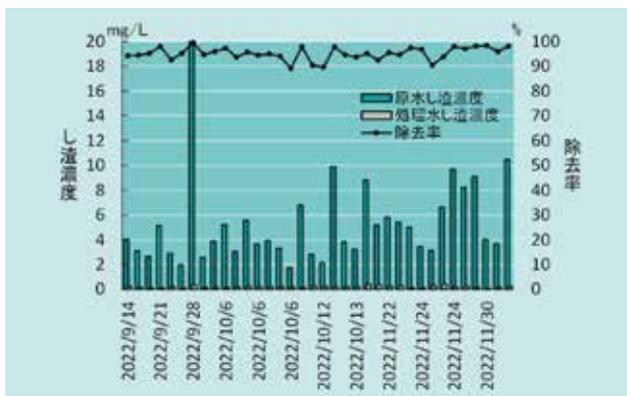


図 14 し渣除去率（微細目）

Fig. 14 Debris Removal Rate (With Micro Screen)

て流入下水の濃度は変化するが、除去率は安定しており、流入変動に対応できている。

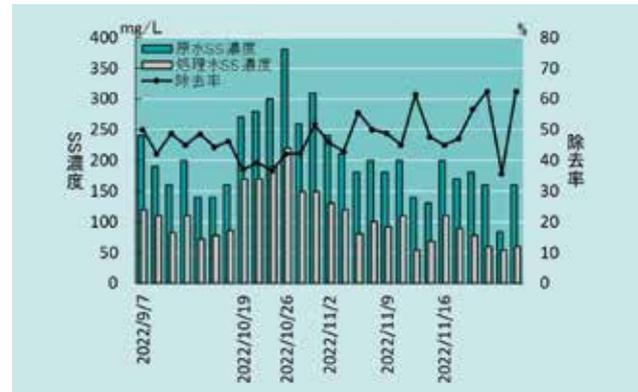


図 15 SS 除去率（超微細目）

Fig. 15 SS Removal Rate (With Ultra-Micro Screen)

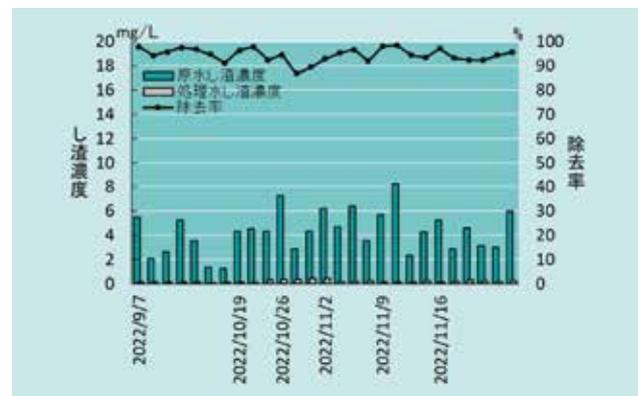


図 16 し渣除去率（超微細目）

Fig. 16 Debris Removal Rate (With Ultra-Micro Screen)

5. おわりに

MBRは従来からある活性汚泥法のうち、重力による固液分離プロセスの部分に膜分離プロセスを応用した処理方式であり、省スペースで高度な処理水が得られることから広く普及してきた。クボタはその普及活動と並行して、膜分離装置の高機能化、インシャルコストやランニングコストの低減に加え、運転制御の高度化、膜分離装置を活用したプロセス開発など、MBRの付加価値を向上させるための様々な開発を行ってきた。

今回はその一環としてMBRの前処理装置の開発を行った。クボタの膜分離装置はシート状の平膜タイプなのでし渣の多い処理場での運転にも比較的適しているが、流入条件によっては従来の前処理技術ではし渣除去率が不十分なケースがあったた

め、本開発でし渣除去性能の大幅な向上を行った。し渣に強い膜分離装置とし渣除去性能の高い前処理装置により、優れた付加価値を提供できると考える。

本機は2022年度に公益財団法人日本下水道新技術機構の建設技術審査証明を取得している。今後MBRを導入予定、又は導入済みの処理場にし渣除去性能の高い本機を導入することでMBRを安心して導入、運用していただくことを目指していく。

また本機はし渣だけでなくSSの除去も可能であり、今後は最初沈殿池の代替用途としての適用性も検討し、機能向上にも取り組んでいく。

SDGs のターゲットへの貢献

6.2 下水施設・衛生施設へのアクセスの強化 安定した下水処理に貢献

参考文献

- 1) 日本下水道事業団. 膜分離活性汚泥法の技術評価に関する第3次報告書—MBRの省エネ化と流量変動対応—
<https://www.jswwa.go.jp/g/g01/g4g/pdf/gihyo32.pdf>、(参照日 2022-06-09)

産業排水処理向け凝集センサの開発

Development of Flocculation Sensor for Industrial Wastewater Treatment

水環境研究開発第二部

クボタ環境エンジニアリング株式会社 産業プラント技術開発部

産業排水処理の一般的な処理技術である凝集沈殿法では、凝集不良による水質悪化、薬品の過剰添加によるコスト増や、運転管理に掛かるメンテナンス人員の確保などの課題があり、その解決手段として「凝集センサ」を開発した。本センサは、画像診断技術を利用した人の感覚に近いセンシングを可能にし、従来の光の透過や散乱を利用した凝集センサとは一線を画す独自の技術として確立した。本センサの実現により、これらの課題を解決し、産業排水処理分野のIoT化を推進するとともにクボタの産業排水処理事業に貢献することができる。

【キーワード】

凝集沈殿、凝集センサ、画像診断、運転管理

The flocculation method, a widely employed treatment technology for industrial wastewater purification, poses challenges for customers, including water quality deterioration due to inefficient flocculation, rising costs associated with excessive chemical addition, and the need for maintenance personnel for operational management. To address these issues, we have developed a groundbreaking sensor that utilizes image diagnostics technology to achieve human-like sensing capabilities, setting it apart from conventional aggregation sensors that employ light transmission and scattering techniques. The implementation of this sensor can address customer-facing challenges, foster IoT adoption in the industrial wastewater treatment sector, and contribute to the expansion of Kubota's industrial wastewater treatment business.

【Key Word】

Flocculation, Flocculation Sensor, Image Diagnosis, Operation and Maintenance

関連する SDGs



1. はじめに

現在、日本では少子高齢化に伴う人口減少が社会問題化しており、事業規模を問わず約7割の企業で人手不足が大きな経営課題として顕在化している¹⁾。その対応策として、IoT化による業務の効率化が求められ、一部の分野では先進デジタル技術の導入が広がってきている。環境事業分野においても、2020年のCovid-19の感染拡大を機に従来のように人の手に頼らない働き方を模索し、変革に向けた取り組みが活発化している。

産業排水処理分野でもその取り組みが進められているものの

① 排水処理施設の運転管理にかかる人工の確保、② 作業員の経験不足に伴う環境事故発生リスクの増加、③ 過剰な薬品注入によるランニングコストの増大、といった問題に対し、その打開策

が充分に取られているとは言い難い状況にある。

その原因の一つに、排水処理の状態を作業員が実際に「目」で見、本人の「経験」や「勘」に頼って判断し、運転条件を決定する管理が慣行化していることが挙げられる。特に最も一般的な処理方法である凝集沈殿処理では、この問題を解決するため、作業員の「目」に代わる「凝集センサ」が種々メーカーによって提案されてきたが、未だ市場にはデファクトスタンダードとなるものは存在しない。そこでクボタは、人間の「経験」や「勘」に頼らない運転管理を実現するために、「画像診断方式」によるセンシングが可能な凝集センサを開発した。

本稿では、本センサの性能、導入効果などについて紹介する。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

開発のコンセプトは、「ベテラン運転員の目と同等以上の精度で凝集状態を数値化できるセンサ」とした。具体的には、従来技術では数値化が困難であった凝集状態の特徴量を「人の目視に近い指標」、すなわち①凝集粒子(フロック)の大きさ、②上澄みの濁り具合として数値化し、凝集不良を自動で検知するものである。

開発機のセンシングは「画像診断」方式とした。画像診断方式の最も優位な点は、撮影画像から凝集状態を人の目視に近い指標として数値化できるため、作業員が直観的に凝集状態を認識し得る点である。

画像診断による凝集センサの構想そのものは新しいものではなく、20年以上前から存在したものの、現在まで主流と

なった製品は市場に見られない。その理由は、当時考案された多くのものはカメラを浸漬させるか、水槽に観測窓を作り外から撮影する方式であり、観測窓の汚れに伴う諸問題を解決することができなかったものと推測する。

開発したセンサのシステム構成を図1に示す。本システムは凝集センサ本体、ポンプ盤、コントロール盤から構成される。本体で画像を撮影し、ポンプ盤は本体に接続して自動洗浄を行い、コントロール盤で撮影画像の解析及びポンプ盤の制御を行う。コントロール盤からは計測値、撮影画像、警報が出力され、これにより、ベテラン運転員と同等の「目」による排水処理装置の監視及び運転制御が可能となる。

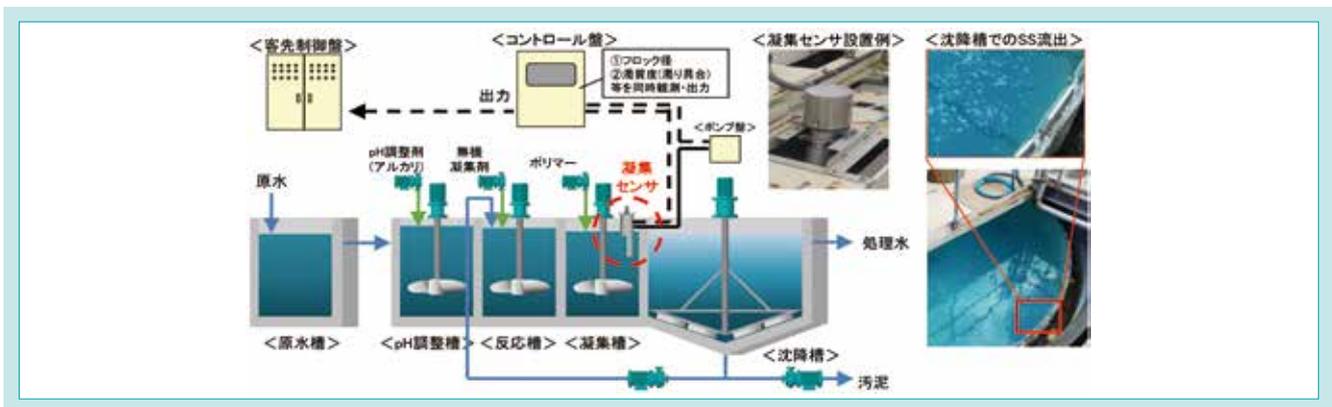


図1 凝集沈殿処理フロー図

Fig. 1 Flow Diagram of Wastewater Flocculation Treatment

2-2 開発目標

前述のコンセプトを実現するため、本開発では、以下の開発目標を設定した。

① 画像診断を可能とする撮影条件及び装置構造の確立

画像解析により取得できる情報の正確さは撮影した画像に大きく依存する。すなわち、測定対象物の情報をより正確に捉え得るためには、解析に適した画像を撮影する条件を如何に整えるかが重要であり、これを実現する装置構造を設計に落とし込むこと、すなわち設計数値の確立が必要で

ある。

② 画像診断による凝集状態の特徴量の数値化

作業員が凝集状態を判断するためには、一般的な水質指標として使われる吸光度や透過率といった間接的な指標ではなく、直観的に凝集状態をイメージできる指標が望ましい。したがって、より人の目視に近い指標として、フロックの大きさ及び上澄みの濁り具合を数値化するための機構及び算出方法を構築することが必要である。

3. 解決すべき技術課題

3-1 画像診断を可能とする撮影条件及び装置構造の確立

過去に考案されている凝集センサは、水中にカメラを浸漬させるか水槽に観測窓を付けて槽の外から撮影する方式であり、これには排水と接触する観測窓は必ず汚れるという問題がある。その解決方法として、窓の洗浄機構やコーティン

グ剤等の対応策が多くの特許に提案されている²⁾。しかし、それらの提案には種々の問題がある。例えば窓をブラシや水・空気の吹き付けで定期洗浄する機構があるが、ブラシの場合、水中でのブラシ駆動装置のロバスト性に問題があり、水・

空気の吹き付けでは汚れが落としきれず安定した画像の撮影に支障をきたすといった問題があった。

また、実際にフロックを撮影する場合、自然光では明るさやピント、絞り等を都度調整する必要が生じ、画像処理で得

られる数値を同じ基準で解析することが困難になる。一方、照明光では水面で反射する光が画像に映り込み、画像解析に供試し得る画像の撮影が不可能になるといった問題があり、最適な撮影条件と装置構造の確立が課題であった。

3-2 画像診断による凝集状態の特徴量の数値化

フロックの大きさを「フロック径」、上澄みの濁り具合を「濁質度」として定義し、凝集状態の特徴量を数値化することとした。

フロック径の場合、凝集処理を行っている状態をそのまま撮影した画像では、フロックが三次元的に重なり合っているため、画像解析によって個々のフロック径を判別することが難しい。一方で、ベテラン作業員は目視によりおおよそのフロックの大きさを判別し、凝集状態の良し悪しを判断し得る。このギャップを埋めるための画像撮影方法及び解析方法を確立することが課題であった。

濁質度の場合、濁り具合を表す従来の指標として「濁度」がJIS K 0102に規定されている³⁾。濁度は、濁度標準液を使って

吸光度あるいは散乱光を計測して検量線を作り、サンプル水の吸光度あるいは散乱光の計測値を検量線に照らし合わせて数値を算出するものである。この計測方法の問題点は、濁り具合の主要因である微小粒子成分が一定である場合に相関は良いが、粒子の色や大きさによっては同じ濃度(重量/体積)であっても吸光度あるいは散乱光の計測値に差違が生じることや、水に着色があった場合には正確に濁り具合を評価できないこと等が挙げられる。ベテラン運転員は総合的に目視で上澄みの濁り具合を判別し、感覚的に処理の良し悪しを判断し得る。フロック径の場合と同様に、このギャップを埋めるための画像撮影方法及び解析方法を確立することが課題であった。

4. 開発技術

4-1 画像診断を可能とする撮影条件及び装置構造の確立

4.1.1 排水と接触しない観測窓の構造

観測窓の汚れ問題を解決するため、「排水と観測窓は接触させない」という逆の発想から装置としてあるべき姿を考えることから開始した。

排水と観測窓を接触させないということから、まず、コップをひっくり返した状態で水に沈め、コップの底側からカメラで水面を撮影する形状を考案した。これにより、排水と観測窓

(コップの底)の間にはエアギャップが形成され、そもそも観測窓自体がない構造を実現した。

更に、想定される水面の波打ちによる水しぶきが窓に当たらないことに加え、レンズの焦点距離や画角等から撮影距離(水面とカメラの間の距離)を算出し、基本的なセンサ本体の形状を決定した。

4.1.2 水面反射の影響を受けない設計

外乱光の影響をなくすため、センサ本体は外部からの光を通さない鋼板製とし、センサ本体の上部に観測窓を設け、観測窓の外側にカメラとリング照明を固定する形状とした。これで実際に撮影は可能なのだが、水面に対し垂直の位置から撮影すると、水面で反射する照明の光が画像に映り込み、画像解析に供試し得る画像にならない。そこで、反射光がカメラの画角から外れるようにセンサ本体を傾けることとした。

しかし、水面での反射は波の凹凸により複雑に変化するため、反射光の映り込みをなくすためには傾ける角度をより大きくする必要がある。一方、角度を大きくとり過ぎると画像の手前と奥でピントがずれ、明瞭な画像が得られなくなる。したがって、理想的な照明、カメラ、水面の位置関係及び傾ける角度を理論的に明らかにするために、想定される波の凹凸及びそれに反射する照明の光とカメラレンズ面の交点を求めるモデルを作成し、算出した座標軸を基にCAD上に照

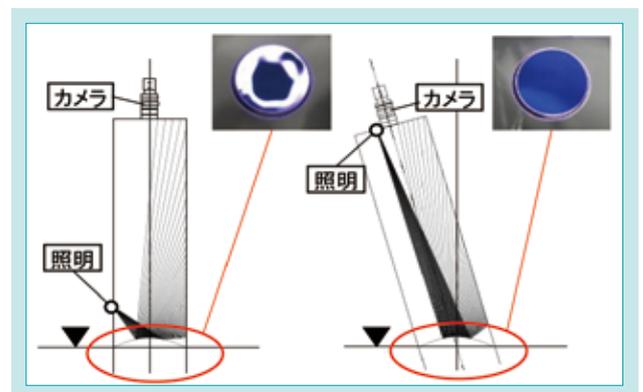


図2 照明-カメラ-水面の位置関係

Fig. 2 Positional Relationship Between Lighting, Camera, and Water Surface

明からの光の軌道を描画し位置関係を求めた(図2)。

検証の結果、最低限必要とする傾ける角度が明らかとなり、実際にその角度での撮影を行い、反射光の映り込みの影響のない画像撮影が可能となることを確認した。

4.1.3 撮影距離が一定となる構造

明瞭な画像を撮影するためには、撮影距離が一定である必要がある。先述したセンサ本体構造では、中の空気層は気温、あるいは空気漏れなどによって体積が変化し、水位が変動することになる。水位が変動すればカメラのピントがずれ、撮影画像は不明瞭となる。

そこで、センサ本体下部を数十mm水没させ、センサ本体内に常にエアを供給し、センサ本体下部の特定位置からエアを排出する構造を採用することで、水面の位置を一定とする機能を実現した(図3)。本構造により、撮影距離が常に一定に保たれ、安定した画像撮影が可能となった。

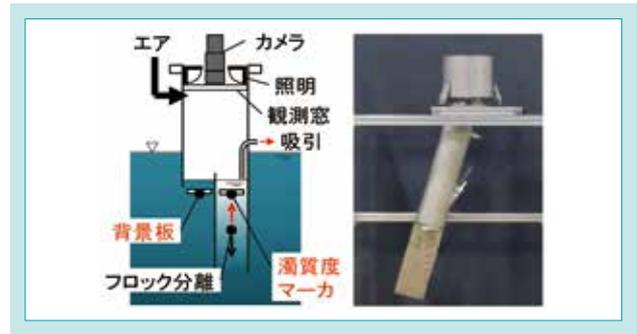


図3 凝集センサの構造

Fig. 3 Structure of Flocculation Sensor

4-2 画像診断による凝集状態の特徴量の数値化

4.2.1 フロック径の計測

フロックが三次元的に重なり合って分布する凝集状態から、画像解析によって個々のフロックの形状を判別できるようにするため、「背景板」を採用することとした。

背景板とは、フロック画像の撮影時に水面と平行になるように水没させた樹脂製の板であり、背景板上には5~10 mmの水被りが常に生じるように配置したものである。フロックは背景板上を流れることで間引かれ、個々のフロックとして撮影することが可能となる。表1にフロック撮影画像と測定例を示す。

撮影されたフロック画像からフロック径を算出するには、まず撮影画像に二値化処理を行う。二値化処理とは、撮影画像を256階調のグレースケール画像に変換し、指定したグレース

表1 凝集センサによるフロック撮影画像と測定例

Table 1 Floc Images and Measurement Examples Using Flocculation Sensor

画像			
フロック径 [mm]			
センサ値	4.7	2.6	1.3
目視計測	5	3	1.5

4.2.2 濁質度の計測

上澄みの濁り具合を数値化する指標として画像診断によって算出することが可能な「濁質度」を新たに定義した。これは、上澄みが濁っているのかどうか作業員の感覚を数値化するもので、JISで規定する濁度と正確には一致するものではない。しかし、通常の運転業務において、処理水が濁っているかどうかを判断する指標としては十分に機能するものと考えている。

画像診断により濁質度を計測する際にフロックが存在する状態のままでは間隙水[※]上澄みの正確な濁り具合を数値化できない。そこでセンサ本体下部を延伸してフロックを沈降分離する機能を持たせた「フロック分離部」を設置した。更

に、フロック分離部で分離した上澄みを常に引き抜くことで、フロック分離部での処理水の滞留を防止するものとした。

ケールの濃淡値より濃い部分を黒、薄い部分を白に変換する画像処理のことである。二値化した画像から「フロックの総面積」と「フロックの総個数」を演算し「フロック一個当りの面積」を求め、フロックを円形と規定して「フロック径」を算出する。

実際に二値化処理により算出したフロック径とフロック画像から手作業でフロックを縁取りして計測したフロック径を比較した結果、両者は概ね一致し、センサの出力値と作業者の目視による大きさ感がほぼ同じであることが示された(図4)。

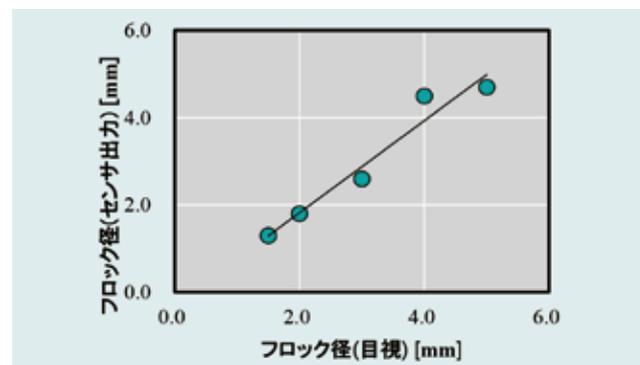


図4 センサの出力値と作業者の目視によるフロック径の相関

Fig. 4 Correlation Diagram Between Measurement Using Flocculation Sensor and Visually Examine

なお、フロック径の計測と濁質度の計測は、一つのセンサで同時に行うようにするため、画角の半分をフロック径の計測用、もう半分を濁質度計測用となるようにセンサ本体の機能を分けている。

画像診断で濁質度を算出するために、白と黒の二つの色の異なる領域からなる「濁質度マーカ」を採用した。

濁質度マーカとは、濁質度画像の撮影時に水面と並行になるように水没させた樹脂製の板であり、濁質度マーカ上に

は50～70 mmの水被りが常に生じるように配置したものである。上澄みに濁りがある場合、濁質度マーカに被った水に含まれる濁り成分が濁質度マーカを覆い隠し、濁り成分が濃いほど濁質度マーカの色味を変化させる。

表2に濁り撮影画像と測定例を示す。撮影された濁質度画像から濁質度を算出するには、まず濁質度マーカの白領域及び黒領域の各々を256階調のグレースケール画像に変換する。各々の濃淡値の差は濁りが大きいほど小さくなり、濁りが小

さいほど大きくなる。濁りがない状態の白領域の濃淡値は255であり、ここからグレースケール画像の白領域と黒領域の濃淡値の差を差し引いた値が濁質度となる。濁質度は濁りが小さいほど0に近づき、濁りが大きいほど255に近づく結果となる。

実際に、凝集センサにより算出した濁質度とJISにより計測した上澄みの濁度を比較した結果、両者に良い相関が確認できた(図5)。これにより、濁質度は、上澄みの濁り具合の定量化を実現しているものと判断した。

表 2 凝集センサによる濁り撮影画像と測定例
Table 2 Turbidity Images and Flocculation Sensor Output Value

画像		
濁質度 [-]		
センサ値	12	51

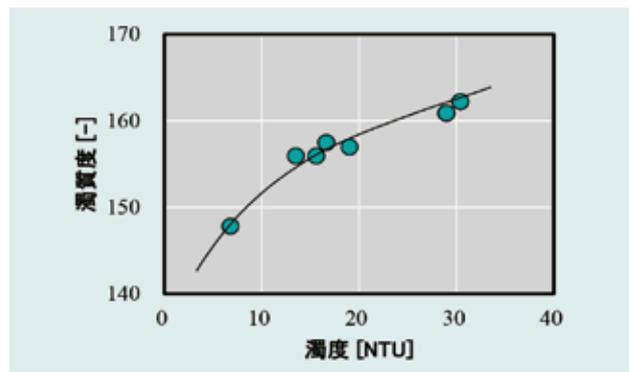


図 5 濁質度と濁度の相関

Fig. 5 Correlation Diagram Between Turbidity Index and Turbidity

4 - 3 凝集センサの適用事例

4.3.1 検証方法及び装置

検証は、実際の排水処理施設に連続凝集沈殿処理試験装置を持ち込み、昼間の連続処理運転で行った。

試験装置は、本設の処理施設と同様のフローで処理規模を約1/20としたものである。対象とする排水は無機懸濁物質排水であり、無機凝集剤にはポリ塩化アルミニウム(PAC)を使用し、高分子凝集剤(ポリマー)にはアニオン系高分子凝集剤を使用した。図6に外観写真を、図7にフローを示す。

この装置の凝集槽に凝集センサを設置し、凝集状態の監視及び凝集センサ出力によるフィードバック制御運転を行った。

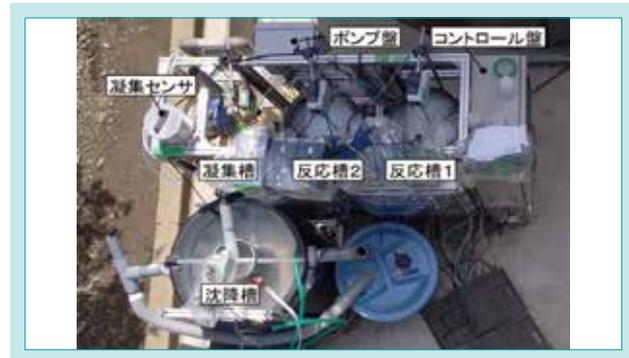


図 6 試験装置

Fig. 6 Testing Equipment

4.3.2 監視モニターとしての凝集センサの適用

開発した凝集センサが処理不良を検知可能か検証した一例を示す。ポリマー注入ポンプ故障を想定し、意図的にポリマー注入を停止し、その後、注入を再開した際のフロック径及び濁質度の挙動を示す(図8)。停止前のフロック径は約3 mmだったが、停止後約3分で減少し始め、約10分後には1 mmを下回った。また、停止前の濁質度は約50だったが、停止後約15分で上昇し始め、20分後には104まで上昇した。その後高分子凝集剤を再添加するものの、濁質度はすぐには減少せず、127まで上昇することとなった。これは、フロック径はほぼタイムラグなしで凝集槽内の排水を計測しているのに対し、濁質度はフロック分離部内の排水が入れ替わるのに15分ほどの時間を要するために生じているものと判断した。

これらの結果から、ポリマーの注入不良時の水質変化に対し、凝集センサの計測値(フロック径)は素早く応答することが確

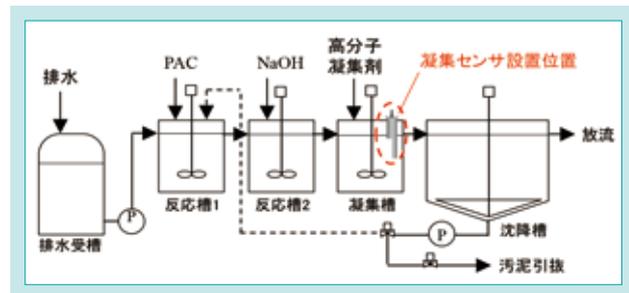


図 7 処理フロー

Fig. 7 Wastewater Treatment Flow

認できた。また、PAC注入に関しても同様の挙動を確認しており、凝集センサによって処理不良時の発報が実排水でも問題なく可能であることを確認した。

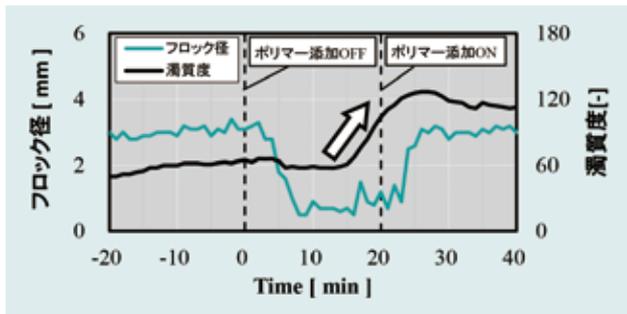


図8 ポリマー停止時のフロック径、濁質度の経時変化
Fig. 8 Time Trend of Floc Diameter and Turbidity Index

4.3.3 薬注率の自動制御への凝集センサの適用

事前の調査により、フロック径がポリマー注入率、濁質度がPACの注入率、フロック総面積が汚泥濃度と相関があることが分かっている。よって、薬注率の自動制御は、凝集センサから出力されるフロック径でポリマー注入ポンプを、濁質度でPAC注入ポンプを、フロック総面積で汚泥循環ポンプを各々3～5段階の稼働率で自動制御する段階制御方式で行った。

図9に凝集センサ出力値及び稼働率の経時変化の一例を示す。図に示すように、センサ出力に合わせて薬注ポンプの稼働率は変動し、処理水質に合わせた薬注運転がされていることが確認できた。表3に運転制御の有無による処理コストの削減効果を示す。従来運転に対し薬注率及び汚泥循環率を自動制御した場合では、PAC使用量が75%、高分子凝集剤使用量が73%減少した。更に、薬注率が最適化され、かつ、汚泥循環によってフロックの成長が促進されることで圧密性の良い締まった汚泥が安定的に生成されることで、発生する汚泥量が減少し、汚泥処分費が13%低減した。結果として薬品使用費及び汚泥処分費の合計処理コストは50%低減でき、こ

これらの結果から、凝集センサの運転制御への適用は、処理コストの大幅な削減を実現し、産業排水処理の課題を解決する手段と成り得ることを確認した。

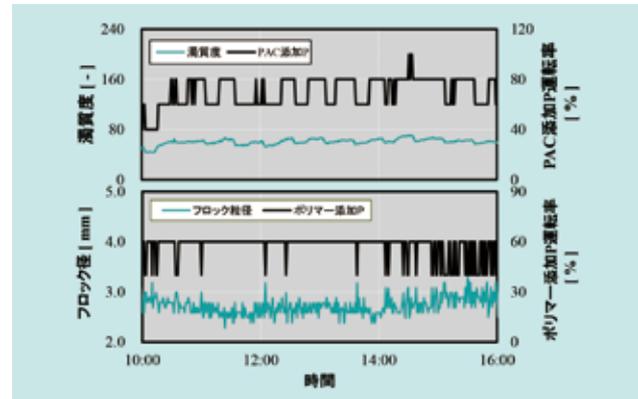


図9 凝集センサ出力値及び稼働率の経時変化
Fig. 9 Time Trend of Flocculation Sensor Output Value and Pump Operating Rate

表3 運転制御の有無による処理コストの削減効果

Table 3 Results of Cost Cuts with and without Operation Control

項目	単位	従来運転	自動制御	削減率(%)※2
PAC	mg/L	203.3	50.5	-
ポリマー	mg/L	13.7	3.6	-
汚泥	kg-Wet/m ³	3.04	2.6	-
PAC	円/m ³	30.5	7.6	-75
ポリマー	円/m ³	16.4	4.4	-73
汚泥※1	円/m ³	30.4	26.3	-13
(合計)	円/m ³	77.3	38.3	-50

※1 汚泥発生量は含水率60%、汚泥処理コストは10,000円/t-Wetとした。

※2 従来運転を100としたときの削減率。

5. おわりに

本開発では、凝集状態のセンシング装置に画像診断方式を採用することで人の感覚に近いセンシング装置を実現した。更に、数値化したフロック径、濁質度の指標が、①排水処理異常を検知する上で十分な反応性を有すること、②自動運転によって排水処理の安定化、安全運転を実現するとともに運転管理コストの削

減、省人化が可能であることを確認した。これらの結果から、この凝集センサが、産業排水処理分野における、「容易なメンテナンス」「監視・省人化」「環境事故防止」「ランニングコスト低減」を支援し、持続可能な社会の形成に貢献することを確信する。

SDGsのターゲットへの貢献

3.9 有害化学物質、大気・水質・土壌汚染による死亡・疫病の削減 排水処理の監視強化による環境事故防止に貢献

6.3 未処理排水の削減、再生利用等による水質の改善 産業排水処理分野の適正処理に貢献

14.1 海洋汚染の防止、削減 汚染水の海洋放出抑止による海洋汚染防止に貢献

参考文献

- 1) 経済産業省:「ものづくり基盤技術の振興施策」、令和元年度版、(2019)、pp. 145
- 2) 日立製作所:「上水フロックの監視制御装置」、特願昭61-82954、(1986)
- 3) JIS K 0102:2022 工場排水試験方法

樹脂製フランジの開発

Development of All-plastic Flange

株式会社クボタケミックス 商品開発部

多くの工場の圧力管路で配管材として使われている鋼管は、経年による腐食の懸念があるため、クボタケミックス(以下「KC」という)では、樹脂管への代替を提案することにより、市場開拓を進めてきた。

しかし、樹脂製の管路システムであっても、バルブ等と接合するフランジが金属製のため、耐食性や施工性(重量)に課題があった。

2020年の本技報では解析による樹脂製フランジの形状検討状況を報告したが、本稿では、製品及び金型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製フランジの開発に至った概要について報告する。

【キーワード】

圧力管路、フランジ、繊維強化樹脂、腐食

Steel pipes, commonly employed as piping materials in various industrial settings, are susceptible to corrosion over time. To address this issue, Kubota Chemix (KC) has embarked on an initiative to expand its market presence by proposing plastic pipes as an alternative solution.

However, even with plastic piping, the flanges used to connect valves and other components are typically made of metal, posing challenges in terms of corrosion resistance and processing. In the 2020 technical report, we presented an analysis of the shape of resin flanges. This report focused on the development of a resin flange that exhibits enhanced strength and workability via improvements in product design and mold optimization.

【Key Word】

Pressured Pipeline, Flange, Fiber-Reinforced Resin, Corrosion

関連する SDGs



1. はじめに

多くの工場の圧力管路で配管材として使われている鋼管は、経年化により腐食の懸念があるため、KCでは、ポリエチレン等の樹脂管への代替により、市場開拓を進めてきた。しかし、ポリエチレンの管路システムであっても、バルブ等と接合するフランジが金属製のため、耐食性や施工性(重量)に課題があった。

そこで、KCではフランジの樹脂化に向け、図1のとおり開発コンセプトを掲げ、解析等で形状を比較・検討した結果、材料強度の低下に対しても、製品の要求性能を満たす形状を導いた¹⁾。

今回は、実際に繊維強化樹脂にて成形したルーズフランジ(以下「LF」という)を使用して、性能確認の結果を報告する。

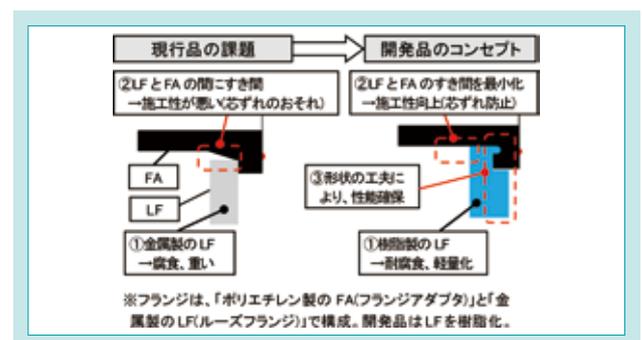


図1 開発コンセプト
Fig. 1 Development Concept

水・環境部門
4
樹脂製フランジの開発

2. 開発の内容

2-1 目標性能

開発品は、耐食性及び施工性向上に向け、LFを樹脂化し、形状を工夫したが、実用上問題がないことを検証するた

め、「現行品の要求性能(JWWA K 145による耐圧性等)」に加え、以下の2つの性能を確認した。

2-2 性能の検証

2.2.1 曲げ配管時の耐漏水性

ポリエチレン管路は、可とう性に優れるため直管による曲げ配管が特長の一つである。この許容曲げ半径で漏水しないことを確認した(表1)。

2.2.2 低温締め付け時の耐破壊性

樹脂(プラスチック)は、一般的に低温下では強度が低下し、破壊のおそれが高くなる。そこで、実配管で想定される「低温環境」と「フランジボルト締め付け」による過酷な状況で評価して、樹脂製LFの破壊有無を確認した。

ゲート選定によるウェルドが成形品の強度に影響を与えることは一般的に知られているが、開発開始時の設計では、LFが破壊した(図4左)ため、LFの成形金型のゲートを変更した(図2)。加えて、角部やリブの形状寸法を変更した(図3)結果、耐破壊性の向上を確認した(図4右)。

表 1 耐漏水性の実験結果

Table 1 Experimental Results of Bending Water Pressure Test

呼び径	許容曲げ半径(m)	結果	実験状況
50	5.0	漏水無し	
75	7.0	漏水無し	
100	9.5	漏水無し	

許容曲げ半径で漏水しない



図 2 金型ゲートの変更
Fig. 2 Change of the Die Gate



図 3 形状寸法の変更
Fig. 3 Change in Shape Dimensions



図 4 耐破壊性の実験結果
Fig. 4 Experimental Results of Breaking Test

3. おわりに

KCは合成樹脂管材における国内トップメーカーであるが、強みであるインフラ市場の需要減少に対し、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、プラント市場向けの開発製品は、実際の配管現場で採用されつつあり(図5)、腐食の心配がなく、軽量で芯出しがしやすいという点で評価を得ている。

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。



図 5 配管現場の状況
Fig. 5 Plumbing Conditions

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、軽量な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

参考文献

1) 橋津健二, 青木清史, 檜物友和:「樹脂製フランジの研究」、クボタ技報、No.53、(2020)、PP.94-95

Introduction of Kubota Research & Development North America (KRDNA)

KRDNA (Kubota Research & Development North America) の紹介

Kubota Research & Development North America Corporation

Related SDGs



1. Introduction

Kubota established its subsidiary development company, KRDNA (Kubota Research & Development North America Corporation), in 2022 to support its development of Kubota products that are locally produced in GA, USA and consumed by the North American market. KRDNA utilizes local talent (engineers and technicians) to develop product that meets the customer needs and at the same time the expectations that come with the Kubota name. The products that KRDNA develop are riding mowers, utility vehicles, loaders and backhoes for tractors which are manufactured and sold by other local Kubota subsidiaries, KMA (Kubota Manufacturing of America Corporation) and KTC (Kubota Tractor Corporation).

There are 2 effects expected by promoting local development found below.

- Eliminate language barriers between our facilities and our dealers, end users, sales companies, factories, and parts suppliers as it relates to our products. This ultimately allows us to have quicker introduction to market of our products that exceed customers current expectations.
- Creating innovative value by incorporating the ideas of local engineers familiar with the product into Kubota's product development.

Kubota will promote localization of development in North America through KRDNA to realize GMB Kubota.

2. Overview

KRDNA has an office building, a prototype shop, collaboration space for meetings with suppliers or other departments, an indoor test facility (dynos, hydraulic test benches, structural testers and automated test rooms), a low temperature test room that can simulate down to a -40°C condition, an oval course and a trail course for evaluating the running performance of utility vehicles, digging field for tractor's loader and backhoe, and turf fields that have grass native to North America to simulate actual user cutting conditions of riding mowers, in its 297 acres (1.2 million m²) of total site area.

As for the test facilities, in addition to the test facilities scattered around KMA in Georgia, U.S.A., the test facilities outsourced third company was consolidated in the same site (Fig.1).

Summary of KRDNA

- Name: Kubota Research & Development North America Corporation (KRDNA)
- Establishment: January 2022
- Address: 5855 Whitehall Rd, Gainesville, GA 30507, U.S.A.
- Operation starting: April 2022
- Total site area: 297 acres (1.2 million m²)
- Total building area: 3.2 acres (13000 m²)



Fig. 1 Overall View of KRDNA

図1 KRDNAの全景

3. KRDNA Summary of Features

Two features of development at KRDNA, "test facility" and "localization of development" are explained.

3-1 Test facility

KRDNA will significantly improve the development efficiency of each product by consolidating the test facilities to one location and by increasing the overall number of tests that can be performed at the same time with its larger footprint and increased resources now available.

Riding mowers: In turf fields, it is possible to check the performance of mowers against various environments customers are known to use, while using grass grown in North America. In the indoor test facility, endurance and performance tests of various power transmission systems as well as compliance tests are now possible. Structural tests are also now able to be completed onsite that previously required an outside vendor.

Utility vehicle: The extensive proving ground, which includes a variety of paved and rough-road test tracks, is capable of testing both low-speed commercial utility vehicles and gasoline-powered high-speed crossover models.

Loader and backhoe: In a large digging field, multiple large tractors can be used simultaneously. A stable and highly reproducible test can be carried out on a single hydraulic component, all the way up to a fully assembled vehicle.

3-2 Localization of development

Physical proximity to markets, sales companies, factories, and suppliers has enabled better communication and collaboration resulting in quicker turnaround in our product development time.

Regarding market and sales companies, we can perform test validation with the cooperation of dealers, customers and sales companies to ensure new designs meet actual customer use cases. Also, by conducting market surveys, it is possible to quickly grasp customer

needs in detail and reflect them in products under development. These activities allow the product to match the way the product is used in the market.

Regarding factories and suppliers, developing the product directly next to the manufacturing facility allows us to work together throughout the design process, making sure the design works within the bounds of our manufacturing capabilities. It also allows for quicker reaction to changes in the design or supplier.

4. Conclusion

With the establishment of KRDNA, Kubota starts digging into product development localization in North America at full scale. Through closer cooperation with North American markets, sales companies, factories

and suppliers, and through the use of numbers of test facilities, we will maximize the benefits of local development and promote the realization of GMB Kubota.

Contribution to SDG Targets

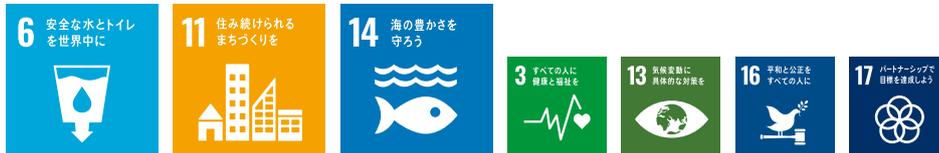
- | | |
|---|---|
| 8.5 Achieving productive employment, rewarding work | Contribution to the increase in employment of engineering job in U.S.A. |
| 9.5 Promoting scientific research and innovation | Contribution to create engineers who are involved in advanced technologies |
| 17.16 Building Global Partnerships | Contribution to build global partnership through working together with Japanese engineering stakeholders in the area of advanced technologies |

大規模MBRの稼働事例紹介(大阪市中浜下水処理場)

Introduction of Large-Scale MBR Operation Case at Nakahama Sewage Treatment Plant, Osaka City

水循環プラント技術部

関連する SDGs



1. はじめに

大阪市中浜下水処理場(東系)では1960年の通水当初より標準活性汚泥法にて下水処理(32 000 m³/日)を行っていたが、通水してから50年以上経過し、水処理施設の老朽化が進み、改築更新が必要となっていた。更に、雨水と汚水を一本の管で集める「合流式下水道」を採用しており、合流改善対策(雨天時の汚濁負荷量の削減)や高度処理化(大阪湾の富栄養化防止のための窒素・リン除去)が求められていた。しかし、従来技術で合流改善、高度処理化を達成するためには施設を大幅に増築する必要があり、現状の敷地内での整備は不可能であった。

「中浜下水処理場水処理施設整備事業」(以下「本事業」という。)は、設計・建設一括契約(DB:Design-Build)方式にて発注され、2017年3月に受注した。省スペースで高度処理可能な膜分離活性汚泥法(MBR:Membrane Bio Reactor)と高速ろ過施設を組合せた施設への改築工事を進め、2021年10月に完成し(図1)、性

能評価期間として2年間の運転管理を実施した。

本報では、本事業の概要と2年間のMBR稼働実績に加え、初導入した省エネルギーMBR制御技術「SCRUM」などを紹介する。



図1 改築後の中浜下水処理場

Fig. 1 Nakahama Sewage Treatment Plant after Reconstruction

2. 概要

2-1 事業の概要

本事業の概要を表1に示す。処理方式は、凝集剤添加型の循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法(MBR)が採用された。MBRは微生物(活性汚泥)による生物処理と膜による固液分離を組合せた処理方式であり、従来の標準活性汚泥法と比べ、活性汚泥の濃度を3~5倍の高濃度に保持できるため、従来方式に比べ省スペースであること、微細な膜でろ過するため高度な処理水が得られるところが特長である。

晴天時の処理能力は、40 000 m³/日であり、国内最大のMBRである。雨天時は、合流式下水道の改善施設として高速ろ過では晴天時処理水量40 000 m³/日の14.4倍となる576 000 m³/日、MBRでは晴天時の2.4倍となる96 000 m³/日を処理する。設計施工期間は2017年3月から始まり、1年間の設計期間を経て、3年半にわたって施工を行い、2021年10月に供用開始した。2年間の性能評価検証期間では目標水質を遵守しつつ、省エネル

ギー運転を目指した運転条件の最適化を試みた。

表1 事業概要

Table 1 Outline of the Project

事業名	中浜下水処理場水処理施設整備事業		
処理方式	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法(MBR)		
		晴天時	雨天時
処理能力	高速ろ過	40 000 m ³ /日	576 000 m ³ /日
	MBR	40 000 m ³ /日	96 000 m ³ /日
事業期間	設計	2017年3月3日~2018年3月31日	
	施工	2018年4月1日~2021年10月31日	
	性能評価検証	2021年10月1日~2023年9月30日	
事業費	約112億円(税込)		
施工業者	(株)クボタ		

2-4 省エネルギー運転について

MBRは、非常に省スペースで高度な処理水が得られることが特長の処理方式であるが、従来の高度処理法と比較して消費電力量が多いことが障壁となり、中大規模の処理場に対しては限られた条件での導入に留まっていた。そこで、省エネルギー化運転を目的としたスマートMBR「SCRUM (Smart Control technology for Reducing energy Use in MBR):スクラム」を東芝インフラシステムズ株式会社と共同で開発し、本処理場に初導入した。

2.4.1 SCRUM技術

MBR運転時の消費電力は、その9割以上を送風機動力が占めており、省エネルギー化にあたっては風量削減が必須である。MBRには膜面を洗浄するための膜洗浄用空気と、生物処理に必要な酸素を補うための補助散気用空気の2系統の空気が必要である(図4)。SCRUMはこれらの風量を各種センサ情報に基づき最適制御を行い、省エネルギー化を図る。

従来、膜洗浄用風量は、膜の目詰まりが生じないようにある程度の余裕をみて一定の風量で運転していたが、SCRUMでは膜の汚れの指標である膜差圧を予測しながら必要な風量に自動制御している。具体的には、薬液洗浄後に次回の薬液洗浄までの膜差圧目標曲線を設定し、数日後の膜差圧予測値が目標曲線よりも低い場合は膜が汚れにくい状況となっているため洗浄用風量を減らし、数日後の予測膜差圧が目標曲線よりも高い場合は風量を増やすという制御を行う(図5)。

次に、補助散気用風量は処理水槽で連続的に測定したアンモニア性窒素濃度に応じて好気槽の溶存酸素を調整する

制御を行い、硝化性能を確保するために必要な風量に自動制御している。

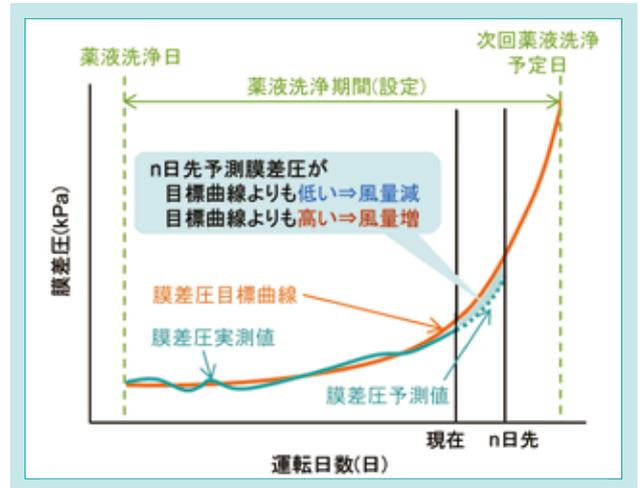


図5 膜差圧予測モデルを用いた膜洗浄用風量制御
Fig. 5 Airflow Control for Membrane Cleaning Utilizing Transmembrane Pressure Prediction Model

2.4.2 サイフォンろ過とエアリフトポンプ

SCRUMの導入に加え、サイフォンろ過とエアリフトポンプによる省エネルギー運転を採用した。

サイフォンろ過は、好気槽と処理水槽の水位差を利用してろ過を行う技術であり、ポンプによるろ過と比較して動力を95%低減することができる。また、エアリフトポンプはL字のダクトの下から少量の空気を曝気することでエアリフト効果にて硝化液(汚泥)を無酸素槽に循環するものであり、ポンプ循環と比較して動力を95%低減することができる。

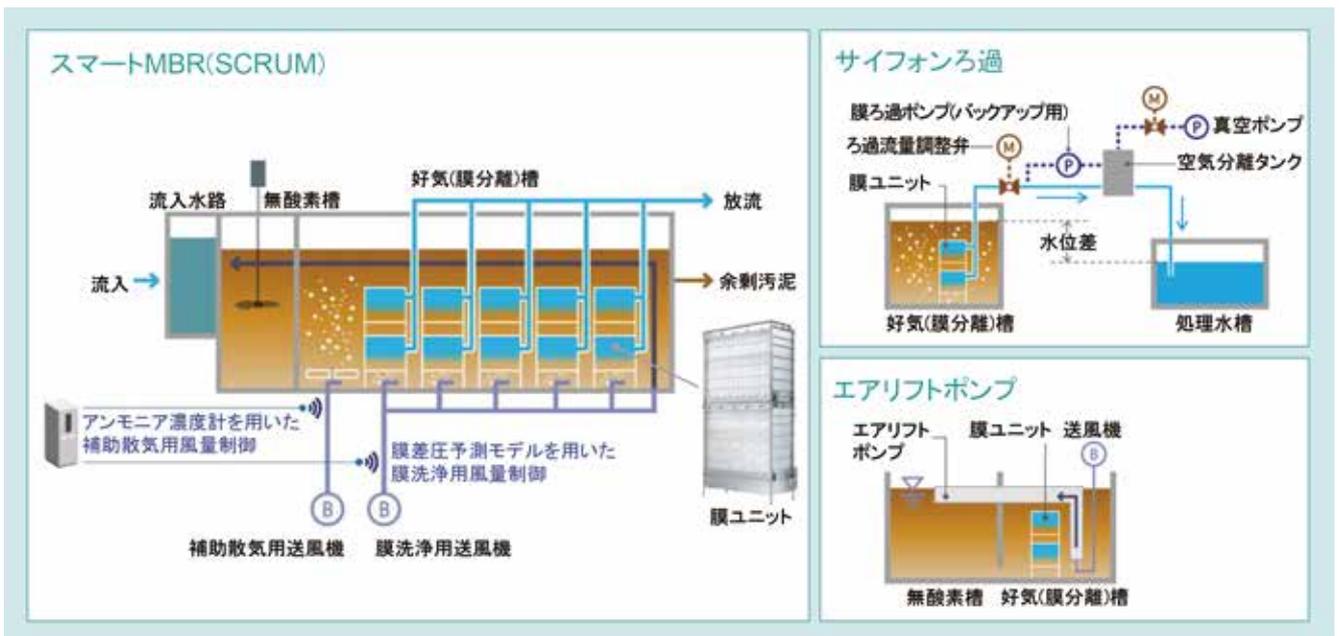


図4 省エネルギー技術の概要
Fig. 4 Overview of Energy Saving Technology

紹介記事

2

大規模MBRの稼働事例紹介(大阪市中浜下水処理場)

3. 水質と消費電力量の運転実績

3-1 水質の運転実績

MBRの処理水質は目標処理水質である設計値が設けられており、その設計値と2021年10月から2023年9月までの2年間にわたる性能評価検証期間の運転実績を表2に示す。晴天時のMBR処理水の実績値はBOD 1.0 mg/L、SS 1.0 mg/L、全窒素 5.7 mg/L、全リン 0.4 mg/Lであり全項目で設計値の水質目標を達成し、大腸菌群数は全ての試験日にて検出されなかった。雨天時は、晴天時のフラックス(膜の表面積あ

たりのろ過水の量)0.51 m³/(m²・日)の2.4倍のフラックスである1.21 m³/(m²・日)に上げて水量変動に対応しているが、MBR処理水はBOD 1.5 mg/L、大腸菌1個/cm³となり設計値を満たす運転ができた。このように雨天時にフラックスを上げてMBRを運転するのは初の試みであったが、高フラックスでろ過を継続でき、目標処理水質で稼働することができたことは貴重な実績である。

表2 MBRの設計値と処理水の水質試験結果¹⁾
Table 2 Design Values of MBR and Water Quality Test Results of Treated Water

項目	流入水質 mg/L		晴天時処理水質 mg/L		雨天時処理水質 mg/L	
	設計値	実績値 (平均値)	設計値	実績値 (平均値)	設計値	実績値 (平均値)
BOD	160	117.6	2.0 以下	1.0	2.2 以下	1.5
SS	120	92.2	1.0 以下	1.0	-	-
T-N(全窒素)	25	25.4	8.0 以下	5.7	-	-
T-P(全リン)	3.6	3.0	0.8 以下	0.4	-	-
大腸菌群数	-	-	3 000 個/cm ³ 以下	ND	3 000 個/cm ³ 以下	1 個/cm ³

3-2 消費電力量の運転実績

2-4に示した省エネルギー技術を採用し、省エネルギー運転を行った。本処理場のMBRに係る処理水量あたりの消費電力量は、0.28 kWh/m³(処理水量40 000 m³/日)を性能保証値、SCRUMの導入により0.25 kWh/m³を目標として運転を行った。性能評価期間において、SCRUM制御を行った期間のMBRに係る消費電力量は、処理水量36 000~40 000 m³/日

に対して平均0.25 kWh/m³であり、目標を達成した。この数値は、高度処理プロセスに急速ろ過を供用する一般的な高度処理に必要な消費電力に比べ同等以下の数値である。従来の標準活性汚泥法と比べて消費電力量が高いことがMBR採用の最大の障壁であったが、この数値の達成によってMBRの普及が更に進むことが期待される。

4. おわりに

処理水質、省スペース性、メンテナンス性に優れたクボタのMBRは、国内の膜分離活性汚泥法による下水処理において処理水量ベースで9割以上のシェアを有している。下水処理場の改築

更新時における課題解決の手段としてMBRを導入し、国内下水処理場が直面している老朽化、都市部の処理水量の増大などの様々なニーズに対して最適なソリューションを提案し続けたい。

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 合流改善により雨天時の河川の汚濁負荷量削減を実現
11.3 包括的かつ持続可能な居住計画・管理能力の強化 河川の水質改善によって都市の水辺魅力の向上に貢献
14.1 海洋汚染の防止、削減 富栄養化の原因となる窒素とリンをMBRにて高度処理

出典

1) 中浜下水処理場水処理施設整備事業性能評価検証報告書、(2023)

し尿処理におけるASBシステムとその効果の紹介

Introduction of ASB System and Its Effects on Night Soil Treatment

クボタ環境エンジニアリング株式会社

関連する SDGs



1. はじめに

し尿処理施設は、一般廃棄物であるし尿・浄化槽汚泥を河川等へ放出可能な水質まで処理する。2000年頃からは、有機性廃棄物の総合的な処理とリサイクルを行う「汚泥再生処理センター」に発展し、有機性廃棄物の資源化を担う施設となった。

世界的にSDGs達成に向けた取組みが活発化しており、2050年カーボンニュートラル達成等に向けて、汚泥再生処理センターに

要求される性能は高度化・多様化している。

ASB(Activation of Soil Bacteria: 土壤微生物活性化)システムはパチルス菌等の土壤微生物の活性を利用した排水処理技術である。クボタグループでは2013年に(一財)日本環境衛生センターの廃棄物処理技術検証事業の評価を取得している。

今回、ASBシステムの概要とその効果について紹介する。

2. 概要

ASBシステムは活性汚泥にASBペレット(腐植物質)とASBミネラル(天然ミネラル塊)を接触させ、生育環境を整えることで土壤微生物を活性化させるものである。接触材はASBリアクタに充填される。ASBシステムのフローと効果を図1に示す。ASBシステムの効果には、余剰汚泥削減、臭気の低減、汚泥沈降性の改善、

発泡抑制、汚泥脱水性の向上、パチルス菌による抗菌効果などがある。ASBシステム導入施設の余剰汚泥量を図2に示す。搬入物のし尿比率が高い施設で余剰汚泥量が少ない傾向がある。また、返送汚泥を受入槽に投入する前循環システムを採用することで、し尿の原臭等の高濃度臭気を低減させている。



図1 ASB システムのフローと効果
Fig. 1 ASB System Flow and Effects

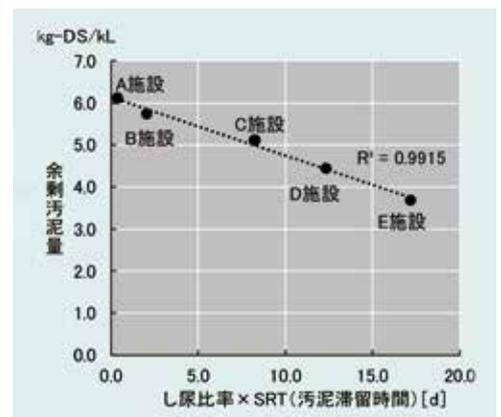


図2 ASB 導入施設の余剰汚泥量
Fig. 2 Excess Sludge Volume with ASB System

3. 詳細説明

3-1 ASB システムの菌叢解析と前循環システムによる汚泥削減の効率化

近年の調査において、ASBシステム導入施設と未導入施設の菌叢を次世代シーケンスにより比較解析したところ、ASB導入施設ではファーミキューテス門、パチルス目、クロ

ストリジウム目に特徴があり、それぞれ未導入施設より存在割合が高いことがわかった(図3)。また、ASBシステム導入施設に前述の前循環システムを採用すると、前循環しない場

合に比べ、余剰汚泥削減効果が5~10%程度向上することが確認されている。受入槽内は嫌気性環境のため、クロストリ

ジウム菌等の嫌気性細菌の働きにより有機物分解が促進され、余剰汚泥削減効果が高まると考えられる。

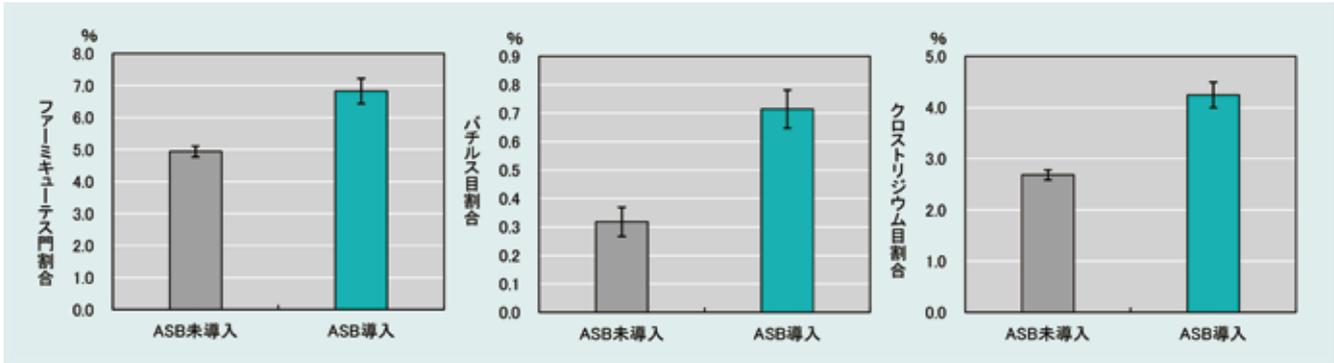


図3 ASB導入施設と未導入施設の菌叢（左：ファーミキューテス門、中：バチルス目、右：クロストリジウム目）
Fig. 3 Comparison of Bacterial Flora Ratios with and without ASB-System (Left: Firmicutes (Phylum), Center: Bacillus (Order), Right: Clostridium (Order))

3-2 ASBシステムのCO₂削減効果

ASBシステムによるCO₂削減効果を表1に示す。余剰汚泥削減により汚泥焼却と脱水に係るCO₂排出量が削減される。

合計で40 t-CO₂/年削減でき、これはCO₂排出量の約4.5%に相当する(し尿:浄化槽汚泥=1:1、50kL/日処理の施設の場合)。

表1 ASBシステムによるCO₂削減効果（条件：し尿：浄化槽汚泥=1：1、50kL/日処理の場合）
Table 1 CO₂ Reduction for ASB System (Condition: Night Soil: Septic Tank Sludge = 1:1, 50 kL/day)

項目		単位	ASB未導入	ASB導入	削減量	削減率
余剰汚泥	汚泥発生量	kg-DS/d	329	254	75	22.8%
	余剰汚泥量(含水率70%)	t/年	400	309	91	
CO ₂	余剰汚泥焼却からのCO ₂ 発生量	t-CO ₂ /年	105	81	24	2.0%
	施設からのCO ₂ 発生量	t-CO ₂ /年	783	767*	16	
	合計CO ₂ 発生量	t-CO ₂ /年	888	848	40	

※脱水に使用するポリマー、ポリ硫酸第二鉄の削減

4. 実績の紹介

これまでにクボタグループではASBシステムを導入した汚泥再生処理センターを14件納入(建設中も含む)している(表2)。

表2 ASBシステム導入実績
Table 2 Installation Record of ASB System Results

納入先	竣工年度	処理規模									
	年	kL/d									
岩手県A組合	2006	85	島根県E市	2016	125	茨城県I市	2020	34	群馬県M組合	2023	50
長野県B連合	2012	70	千葉県F組合	2018	97	静岡県J組合	2020	210	千葉県N市	2023	67
愛媛県C市	2016	45	東京都G組合	2018	24	鹿児島県K町	2021	223			
千葉県D市	2016	66	三重県H市	2019	170	茨城県L町	2023	26			

5. おわりに

汚泥再生処理センターは循環型社会の形成に重要な施設である。ASBシステムの余剰汚泥削減等の効果により、CO₂排出量

を削減できる。クボタグループでは持続可能な社会形成に向け、有機性廃棄物処理のさらなる技術開発に取り組んでいく。

SDGsのターゲットへの貢献

- 9.4 環境に配慮した技術・産業プロセスの導入によるインフラ改良・産業改善 汚泥再生処理センター建設で廃棄物の循環利用に貢献
- 12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 余剰汚泥削減により40.0t-CO₂/年削減(し尿：浄化槽汚泥=1：1、50kL/日処理の場合)

浸水被害発生時における迅速な復旧活動をサポート 「排水ポンプ車用超軽量排水ポンプ」

Ultralight Drainage Pump for Drainage Pump Vehicle

1. はじめに

近年、地球温暖化等の影響により局地的な大雨が頻発し、全国各地で浸水被害が多発している。こうした状況を受け、国及び地方自治体を中心に、大容量排水が可能なポンプが搭載された排水ポンプ車のニーズが高まっている。

人力で設置可能な超軽量排水ポンプを搭載した本ポンプ車は、クボタで2006年以降400台超の納入を行っている。昨今、ポンプ車を稼働する人員の高齢化といった問題もあり、設置作業の負荷低減の要望が強くなっている。今回、上記のニーズに応えるべく、ポンプの改良開発を行った。

※排水ポンプ車は、主に浸水被害を受けた地域の緊急排水目的で使用され、荷台には発電機、制御盤、フロート、ホース、可搬式ポンプが搭載されている(図1)。

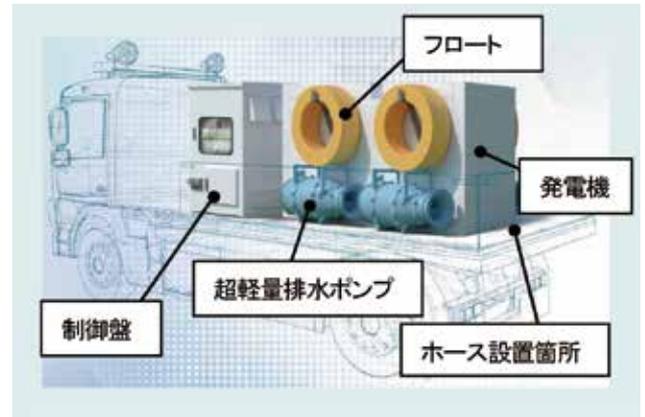


図1 排水ポンプ車
Fig. 1 Drainage Pump Vehicle

2. 製品の概要

新たに開発したポンプは、従来の高揚程タイプと同様に、「2台直列接続運転(揚程20 m まで対応可能)」及び「低水位運転」の機能を備えながら、寸法・質量を大きく変えることなく排水能力を1.5倍とし、従来の大容量タイプと同じ吐出し量 7.5 m³/min を確保した。

排水ポンプの大容量化により、同様の機能を有する従来の排水ポンプ車に対して、ポンプ、ホース、フロートの搭載数を削減でき(図2)、車載時と排水作業時の省スペース化や設置作業の省力化に貢献するとともに、排水開始までの時間短縮も可能となった。また、トラック荷台への積み込み作業や、運搬・投入作業に配慮し、ポンプの取手形状を改良することで、ユーザビリティも向上させた。



図2 排水ポンプ車の搭載品の数量比較
Fig. 2 Quantity Comparison of Installed Items on Drainage Pump Vehicle

3. おわりに

豪雨災害から人々の暮らしを守るため、排水ポンプ車の重要性はますます高まってきている。クボタは排水ポンプ車のトップメーカーとして、ポンプの性能・機能向上や作業性の改善につながる製品改良に今後も引き続き取り組み、安全・安心な市民生活の確保に貢献していく所存である。

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 水循環プラント営業部

TEL 03-3245-3337

●
—クボタ技報—

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.56

●編集委員●

トラクタ総合技術企画部	梅本 英哉
収穫機技術部	田中 如一
精密機器事業ユニット	円藤 幸夫
パイプシステム事業推進部	柴木 敦
滋賀工場	北川 雅之
産業機材事業推進部	小谷 正典

●事務局●

研究開発統括部	大霜新三郎
	倉持 克史

●
2024年1月印刷

2024年1月発行

(執筆・編集委員の所属は2023年12月現在)

————— 禁無断転載 —————

(非売品)

発行所 株式会社クボタ

グローバル技術研究所

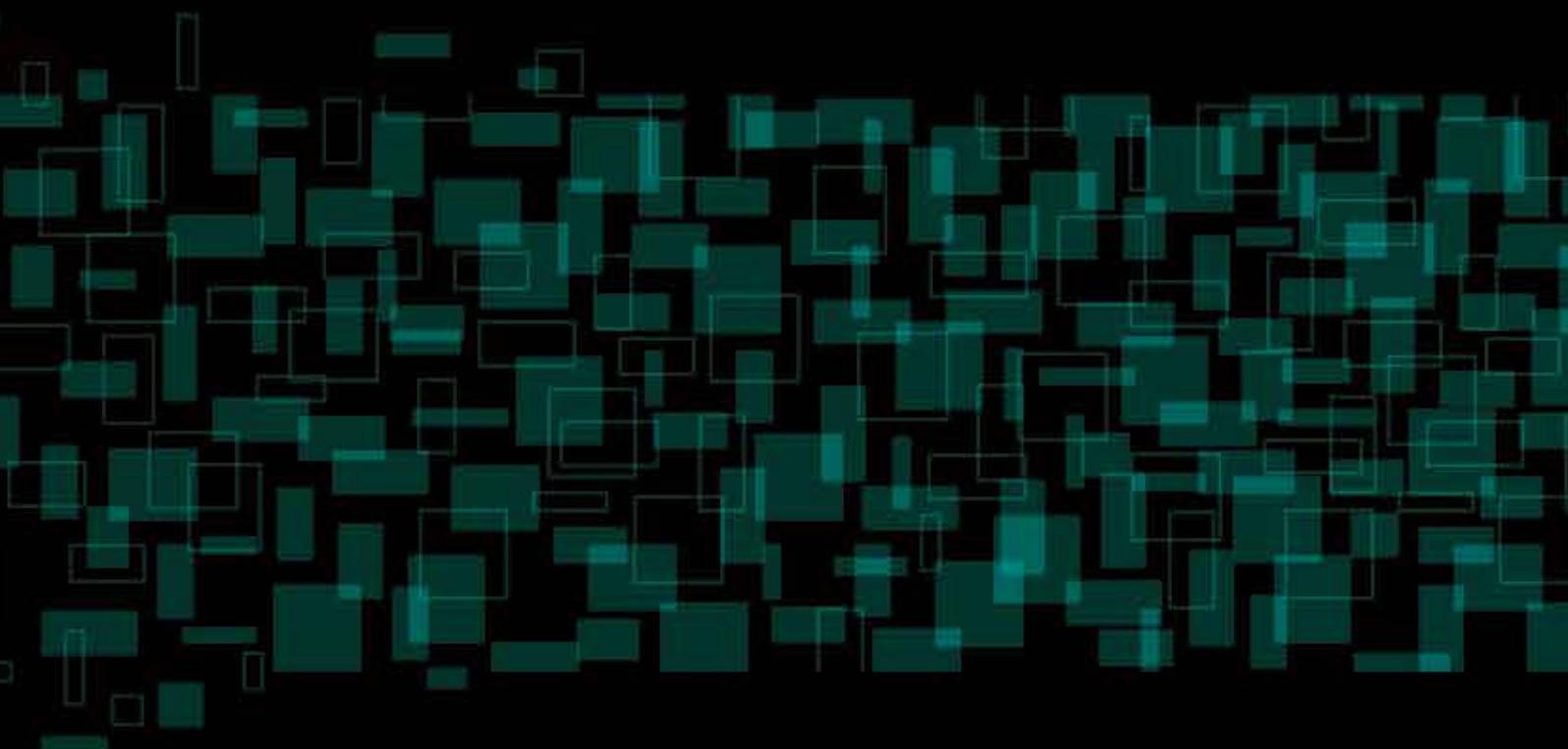
研究開発統括部

〒590-0908 大阪府堺市堺区匠町1番地11

kbt_g.rd-techrep@kubota.com

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