

For Earth, For Life
Kubota

KUBOTA TECHNICAL REPORT

クボタ技報 **54**
JANUARY 2021

ISSN 0916-8249

No.54

ISSN 0916-8249

JANUARY 2021

クボタ技報

KUBOTA TECHNICAL REPORT

クボタ技報

No.54 2021年1月

目次

巻頭言

| | |
|--------------------------------|---|
| イノベーションを起こし、「トータルソリューション」を提供する | 6 |
|--------------------------------|---|

機械部門

| | |
|-------------------------------|----|
| アグリロボトラクタ MR1000A の開発 | 8 |
| 国内向け自脱型コンバイン DR6130A の開発 | 14 |
| 小型田植機 AW シリーズの開発 | 20 |
| 北米向けローントラクタ T90 シリーズの開発 | 26 |
| 歩行型ロータリ除雪機 SLA-1070ST の開発 | 32 |
| 軟弱野菜調製機 NC301 の開発 | 38 |
| アセアン向けトラクタ MU4902 の開発 | 44 |
| 高速播種機の開発 | 50 |
| 国内向けトラクタ新型 SL シリーズの開発 | 56 |
| 03・07・V3 StageV エンジンの開発 | 58 |
| 粒子数規制対応触媒技術の開発 | 64 |
| 北米向け CTL SVL65-2 の開発 | 70 |
| 小型立乗りコンパクトトラックローダ SCL1000 の開発 | 76 |
| 塗膜の耐候性評価技術の開発（促進性と相関性の検討） | 82 |

水・環境部門

| | |
|----------------------------|-----|
| フランジレス T 字管・補修弁の開発 | 84 |
| 石油化学プラント用特殊仕切弁の診断技術開発 | 90 |
| 都市ごみ焼却炉の燃焼解析技術の開発 | 96 |
| ポンプゲートの全速全水位機能と診断機能の開発 | 102 |
| 浄水用セラミック膜ろ過装置（フィルセラ HD）の開発 | 108 |
| 樹脂製排水集合管の開発 | 114 |

紹介記事

| | |
|------------------------|-----|
| 浸水災害の復旧に貢献する排水ポンプ車の紹介 | 116 |
| 双葉町減容化施設における廃棄物処理事業の紹介 | 120 |

新製品紹介

| | |
|---------------------|-----|
| 高集積型液中膜ユニット SP900-A | 124 |
|---------------------|-----|

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.54 JANUARY 2021

CONTENTS

Prefatory Note

| | |
|--|---|
| Inspiring Innovation to Provide Total Solutions | 6 |
|--|---|

Farm & Industrial Machinery

| | |
|---|----|
| Development of AgriRobo Tractor MR1000A | 8 |
| Development of the Head-feeding Combine Harvester DR6130A for Domestic Market | 14 |
| Development of Small Rice Transplanter AW Series | 20 |
| Development of T90 Series Lawn Tractor for North America | 26 |
| Development of Two-stage Snow Blower SLA-1070ST | 32 |
| Development of Spinach Conditioner NC301 | 38 |
| Development of MU4902 Tractor for ASEAN Market | 44 |
| Development of a High Speed Planter | 50 |
| Development of SL Series Tractor with "Keeping Straight Function" | 56 |
| Development of 03·07·V3 StageV Engines | 58 |
| Development of Catalyst Technology for Particle Number Regulation | 64 |
| Development of the CTL SVL65-2 for North America | 70 |
| Development of Stand-On Type Mini Compact Track Loader SCL1000 | 76 |
| Development of Weathering Evaluation Technology | 82 |

Water & Environment

| | |
|--|-----|
| Development of Flangeless T-pipes and Isolating Valves | 84 |
| Development of Diagnostic Technology for Special Gate Valve for Petrochemical Plant | 90 |
| Development of Combustion Analysis Technologies for Municipal Waste Incinerator | 96 |
| Development of the Full-speed, Any-water Level Operation Function and Diagnostic Function for Pump Gate System ... | 102 |
| Development of FILCERA HD -Ceramic Membrane Filtration Equipment for Drinking Water Treatment Plants ... | 108 |
| Development of Plastic Single Stack Drain Fitting | 114 |

Introduction Article

| | |
|---|-----|
| Introduction of Drainage Pump Vehicles to Assist Restoration Work Following Severe Flooding ... | 116 |
| Introduction of Waste Treatment Operation at the Volume Reduction Facility of Futaba Town ... | 120 |

New Products

| | |
|--|-----|
| Highly Packed KUBOTA Submerged Membrane Unit SP900-A | 124 |
|--|-----|

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(エスディージーズ)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 | | | |
| ■ | | アグリロボットトラクタMR1000Aの開発 | | |
| ■ | | 国内向け自脱型コンバインDR6130Aの開発 | | |
| ■ | | 小型田植機AWシリーズの開発 | | |
| ■ | ■ | 北米向けローントラクタT90シリーズの開発 | | |
| ■ | ■ | 歩行型ロータリ除雪機SLA-1070STの開発 | | |
| ■ | | 軟弱野菜調製機NC301の開発 | | |
| ■ | | アセアン向けトラクタMU4902の開発 | | |
| ■ | | 高速播種機の開発 | | |
| ■ | | 国内向けトラクタ新型SLシリーズの開発 | | |
| ■ | ■ | 03・07・V3 StageVエンジンの開発 | | |
| ■ | ■ | 粒子数規制対応触媒技術の開発 | | |
| | ■ | 北米向け CTL SVL65-2 の開発 | | |
| | ■ | 小型立乗りコンパクトトラックローダSCL1000の開発 | | |
| ■ | ■ | 塗膜の耐候性評価技術の開発(促進性と相関性の検討) | | |
| | ■ | フランジレスT字管・補修弁の開発 | | |
| | ■ | 石油化学プラント用特殊仕切弁の診断技術開発 | | |
| | ■ | 都市ごみ焼却炉の燃焼解析技術の開発 | | |
| | ■ | ポンプゲートの全速全水位機能と診断機能の開発 | | |
| | ■ | 浄水用セラミック膜ろ過装置(フィルセラHD)の開発 | | |
| | ■ | 樹脂製排水集合管の開発 | | |
| | ■ | 浸水災害の復旧に貢献する排水ポンプ車の紹介 | | |
| | ■ | 双葉町減容化施設における廃棄物処理事業の紹介 | | |

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 |
| | | ● | | | | | | ★ | ★ | | | | | | | ● | ● |
| | | ★ | | | | | | ★ | ★ | | | ● | | | | ● | ● |
| | | ★ | | | | | | ● | ★ | | ● | | | | | ● | ● |
| | | | | | | | | ★ | | | ★ | ● | | | | ● | ● |
| | | | | | | | | | ★ | | ★ | ● | ● | | | ● | ● |
| | | ★ | | | | | | ● | ★ | | | ● | | | | ● | ● |
| | | ★ | | | | | | ★ | ● | | | ● | | | | ● | ● |
| | | ★ | | | | | | ★ | ★ | | | | | | | ● | ● |
| | | | | | | | ★ | ● | | | ● | ● | ★ | | | ● | ● |
| | | ● | ★ | | | | ● | | ● | | | ★ | | | | ● | ● |
| | | | | | | | | ★ | | | ★ | | | | | ● | ● |
| | | | | | | | | ★ | ★ | | ★ | ★ | | | | ● | ● |
| | | | | | | ★ | | ★ | ★ | | ● | | | | | ● | ● |
| | | | | | | | ● | | ★ | | | ★ | | | | ● | ● |
| | | | ● | | | | ★ | | | | ● | ★ | ● | | | ● | ● |
| | | | ★ | | | ★ | | | ★ | | | | ● | | | ● | ● |
| | | | | | | | | ★ | ● | | ● | ★ | | | | ● | ● |
| | | | | | | | | | | | ★ | | ★ | | | ● | ● |
| | | | | | | | | | | | ★ | ★ | ● | | | ● | ● |

イノベーションを起こし、「トータルソリューション」を提供する

代表取締役社長

北尾 裕一

President and
Representative Director

Yuichi Kitao



クボタはこれまで、「食料・水・環境」の分野で、社会課題を解決し、人々の暮らしを豊かにする製品を世に送り出してきました。しかし、先進国の少子高齢化、新型コロナウイルスの感染拡大、温室効果ガスによる温暖化などを要因とする複雑な社会課題は数多く、今後も新たな課題の発生によって、社会はさらに複雑化すると考えています。また、ICT・IoT分野の技術革新などでお客様のビジネスが大きく変化してきており、ビジネスの上流から下流までカバーすることが不可欠になっています。

今年から始まる5カ年の新中期計画では、これらの課題を総合的に解決する、技術・製品・サービスを複合したトータルソリューションを提供できる企業になりたいと考えています。具体的には、①食料の生産性・安全性を高める、②水資源・廃棄物資源循環の促進、③都市環境・生活環境の向上、の3つの方向性を掲げています。

私は、40年間トラクタの開発や農業機械の事業運営に携わってきました。その間、農業は成熟市場で今後成長することはないという人もいました。それでも貪欲に、お客様の困りごとを解決すべく研究開発を続けた結果、農業市場を成長市場に変えることに貢献し、トラクタなど農業機械の売り上げを伸ばすことができました。

クボタには昔から、お客様第一主義の精神が根付いています。ビジネスに必要なのは、自分本位な考えではなく、お客様のビジネスを成功に導くため、お客様に寄り添い、お客様が抱える問題を先取りして発見する「On Your Side」の精神が重要だと考えています。

また、これまでの事業領域や地域の壁をなくし、研究開発、生産、販売サービスなどの全ての部門が「One Kubota」として一丸となり、複雑な社会課題やお客様の広いご要望に応える新しい価値を提供していきたいと思っています。

私は、この新しい価値の提供こそイノベーションだと考えており、社内に「イノベーションなくして今後の成長なし」と常に伝えています。ただ、私が言うイノベーションは、新技術だけによって生み出されるものではありません。既存技術や汎用的な製品でも、組み合わせや発想の転換でシナジーを生み出せること、そして、「One Kubota」と「On Your Side」の精神で社内のリソースを集結し、イノベーションを次々に生み出して欲しいことも伝えています。

一方で、現代のイノベーションには、AIなど急速に進む技術革新を活用した新技術開発が重要です。特にこれからのクボタには、ICT・IoT分野、電動化など次世代動力分野、バイオ分野などの先端技術が必要不可欠ですが、鍛造技術、メカトロ技術、流体制御技術、水・廃棄物処理技術などのこれまで培ってきた技術分野とは異なる難しさがありますので、オープンイノベーションでの技術獲得も進めています。

例えばある研究部門では、これまで実現できていなかった収穫作業も可能にする次世代農業ロボットのAIについて、社外パートナーと研究しています。またある部門では、映像で水インフラ設備の異常を検知するAIを共同開発する等、民間企業及び公的機関の様々なパートナーと、将来に向けた取り組みを進めています。また、一昨年に設立したイノベーションセンターでは、害虫データベースと気象情報を組み合わせた新しい防除システム・サービス等、ユニークな技術や新進気鋭のビジネススキームの獲得を進めています。

クボタはこれからも社会課題とお客様のビジネスの問題解決に貢献していきます。そのために、イノベーションを起こし、「トータルソリューション」も提供できる企業へと変革していきたいと考えています。ご期待ください。

Inspiring Innovation to Provide Total Solutions

Kubota delivers products that solve social issues in the areas of food, water, and the environment, thus enriching people's lives the world over. Yet, there remain many complicated issues that stem from low birthrates and longevity in developed countries, the ongoing spread of COVID-19, and global warming due to greenhouse gases. As one new issue after another presents itself, the global community is expected to become increasingly complex. Meanwhile, as technological innovation in the fields of ICT and IoT are catalyzing major changes in customers' business, we must definitively cater to their entire business, from upstream to downstream.

It is with this in mind that we have drawn up a new five-year Medium-term Plan that will kick off this year. Guided by the new Plan, we wish to be a company that offers total solutions to such issues by combining our proprietary technologies, products, and services. We have announced three directions to take in this regard. They are: 1. Enhancing productivity and safety of food, 2. Promoting recycling of water and waste resources, and 3. Improving urban and living environments.

I have been involved in the development of tractors and the operation of agricultural machinery business for 40 years, and there have been people that have insisted that the agricultural market has matured and will never grow again. Nonetheless, I tenaciously continued my research and development to help my customers to work out their difficulties. As a result, we have been able to help bring the agricultural market back to a growth trajectory, boosting sales of tractors and other agricultural machinery.

The "Customer First Principle" has long been ingrained in Kubota. After all, what we need for business is not self-centered thinking but to stay "On Your Side," that is, to stand by customers to discover their problems even before they do, so that we can lead their business to success.

It is also our desire that all divisions—R&D, Production, Sales, and Services—go beyond the boundaries of business domains and geographical regions to join together as "One Kubota," allowing us to offer new values that measure up to complicated social issues and diverse customer needs.

I believe that we can bring about innovation if we continue providing new values, and I take every opportunity available to tell everyone, "Without innovation, we cannot hope to grow." That said, it's not just new technologies that give rise to what I mean by "innovation." I have also told them that we can create synergies even with existing technologies and general-purpose products if we combine them in ways that were previously unimagined and that I would like to see them put together our in-house resources in the spirit of "One Kubota" and "On Your Side" to create a seamless string of innovations.

Meanwhile, it is true that, if we wish to create innovation in this modern age, it is important to develop new technologies by utilizing AI and other fruits of fast-paced technological innovation. For Kubota to sustain its business growth, in particular, advanced technologies in the fields of ICT/IoT, electric and other next-generation power sources, and biotechnology will play a vital role. Because these involve technical difficulties different from those associated with our more familiar technologies, such as casting, mechatronics, fluid control, and water/waste treatment, we are eagerly acquiring such technologies through our open innovation approach.

For instance, one research department is teaming up with an outside partner to study AI for next-generation agricultural robots, which perform harvesting—something that Kubota has yet to succeed in. Another department is jointly developing AI that uses videos to detect abnormalities in water infrastructure. This way, we are working with outside partners from both the private and public sectors for the future. Furthermore, at the Innovation Centers that we founded the year before last, we are gaining access to unique technologies and up-and-coming business schemes, such as a brand new pest control system/service that combines an insect database with meteorological information.

Kubota will remain committed to offering solutions to social issues and customers' businesses. To this end, we are transforming ourselves into a company that inspires innovation and offers total solutions. Please count on us!

アグリロボトラクタMR1000Aの開発

Development of AgriRobo Tractor MR1000A

トラクタ技術第二部／システム開発第一部／車両基礎技術部

日本国内では高齢化にともなう離農者の増加により、農業就業人口が減少し労働力不足が顕在化してきている。また、担い手農家による農地集約や規模拡大が加速しており、効率化や省力化が求められている。これらの課題を解決するため、クボタはスマート農業技術の開発を推進しており、効率化と省力化を支援するための自動運転農機としてトラクタ、コンバイン、田植機を既に市場投入している。そこでクボタは、担い手農家のニーズにより一層応えていくため、これまでのアグリロボトラクタより大型かつ作業汎用性の高いアグリロボトラクタ「MR1000A」を開発した。本稿では「MR1000A」の開発技術について述べる。

【キーワード】

スマート農業、トラクタ、自動運転、制御、検知システム、GNSS

Japan's working population engaged in agriculture is declining due to the aging of farmers. As a result, the labor shortage is becoming more serious. On the other hand, farmland consolidation and scale expansion by certified farmers are increasing, and labor saving and efficiency improvement are required. To solve these problems, Kubota is promoting the development of smart agricultural technology. Kubota has already released into the market tractors, combine harvesters and rice transplanters with an autonomous driving system. To adapt to the needs of certified farmers we developed the new AgriRobo tractor “MR1000A”, which is larger and more versatile than conventional AgriRobo tractors. Here we show the technical development of “MR1000A”.

【Key Word】

Smart-agriculture, Tractor, Autonomous, Control, Detection System, GNSS

関連する SDGs



1. はじめに

日本国内では農業就業者の高齢化にともない、離農者が増加し、労働力不足が深刻になっている。一方で、担い手農家による農地の集約によって営農規模の拡大が進み、営農組織あたりの耕地面積は増加している。効率的かつ安定的な農業経営を持続していくためには、生産性と収益性の向上が必要である。このために、農業機械によるさらなる効率化と省力化が求められている。そこで、クボタでは高精度化、高能率化、省力化、軽労化を実現するスマート農業を推進すべく、無人自動運転作業が行えるアグリロボトラクタ「MR1000A」を開発した(図1)。



図1 アグリロボトラクタ「MR1000A」
Fig. 1 AgriRobo Tractor MR1000A

2. 開発のコンセプトと目標

2-1 開発のコンセプト

トラクタはインプリメントを付け替えることで多様な作業が可能である。作業内容によって、車速やインプリメントを上げ下げするタイミング、ほ場内を走行する経路が異なる。そのため、オペレータには作業内容ごとに異なるスキルが求められ、効率的な作業を行うためには熟練の技術と経験が必要である。

また、作業中のオペレータは、作業運転姿勢を保ちながら一定の騒音や振動にさらされる。それゆえ、長時間の作業はオペレータに大きな負担がかかる。

更に、RTK-GNSS (Real Time Kinematic-GNSS) を利用した

測位補正情報の取得方式は複数ある。お客様や地区により使用したい方式が異なり、それぞれに対応する汎用性が必要とされている。

そこで、本開発では「高精度・高効率で安全に省力化・軽労化へ貢献できる汎用性の高い自動運転トラクタ」を開発コンセプトとした。

2-2 目標

開発のコンセプトを満たしたアグリロボット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) 多種の作業に対応した自動走行技術の実現

オペレータの技能や熟練度に依存せず、ロータリによる耕うん、ハローによる代かき、スタブルカルチによる粗耕起、ブロードキャスト(以下「プロキャスト」という。)による施肥の4種の作業を要求される精度で行い、かつ効率的な作業ルートの生成を実現すること。

(2) 無人運転での安全確保の実現

直接目視で監視する条件下で無人での自動運転作業を安全に行うことで、オペレータの負担を軽減し、省力化・軽労化を実現すること。

(3) 汎用性の高い測位システムの実現

広域基地局システムへの対応や凹凸のあるほ場に対応した自動走行制御用RTK-GNSSユニットを開発することで、汎用性の高い測位システムを実現すること。

2-3 アグリロボットトラクタの概要

2.3.1 アグリロボットトラクタの搭載機器

自動運転を実現するために搭載した主な機器類として、高精度な位置情報を得るためのRTK-GNSSユニット、電子制御パワーステアリングコントローラ、作業ルート・条件の設定やほ場形状を登録するターミナルモニタ、障害物を検

知するセンサ、車両周辺の監視を補助するカメラ、作業の開始・停止を行うためのリモコン、車両情報の取得や設定変更を行うためのタブレット端末等が挙げられる。

2.3.2 自動運転トラクタの作業領域

自動運転が可能な作業領域としては、枕地周り耕部を除くほ場中央部とし、ロータリ耕うんのみ枕地周り耕部の最内周も自動運転で耕うん可能とした。枕地周り耕部には、取水バルブや境界杭、排水パイプといった高さの低い

障害物やコンクリート製の畦畔も多いため、障害物に衝突してしまう可能性を考慮して、枕地周り耕部は自動運転の作業領域から除外した。

3. 解決すべき技術課題

3-1 多種の作業に対応した自動走行技術の課題

3.1.1 適応作業の拡大

使用するインプリメントの種類によって、要求される作業車速やトラクタにかかる負荷が異なり、それぞれに応じた自動走行制御が必要である。具体的には、プロキャストのように精度よりも効率を重視することが多い作業や、ス

ダブルカルチのように地面に刺した爪の負荷により、操舵を行っても操舵角に対してトラクタの方位が変化しにくい作業等があり、それぞれに応じた自動走行制御を行うことが課題となった。

3.1.2 枕地を荒らさない自動旋回動作の確立

枕地旋回時にタイヤやクローラで土を寄せてほ場を荒らしてしまうことは、枕地耕の作業の長時間化や仕上がりが悪化の要因となる。枕地の広さは、ほ場形状やインプラメントの種類によって異なる。そのため、枕地の広さによらず、ほ

場を荒らすことなく自動で旋回動作を行うことが課題となった。また、ホイール仕様のトラクタだけでなく、旋回径が大きくなるパワックロ仕様も考慮した自動旋回動作を行うことが課題となった。

3.1.3 効率的なルート生成の実現

自動運転作業終了後は、トラクタにオペレータが乗り込んで手でほ場の残りの部分を仕上げ作業する。そのため、作業全体の効率化や省力化を図るためには、自動運転時の効率だけでなく、手動での仕上げ作業が容易になる自動運転ルートを生成することが課題となった。具体的

には、自動運転作業終了位置をオペレータがトラクタに乗り込みやすい位置にすることや、既耕地にタイヤ痕を残さないことでほ場仕上げの作業時間を少なくすることが課題となった。

3-2 無人自動運転での安全性確保と汎用性両立の課題

3.2.1 無人自動運転での安全要求事項

無人での自動運転作業で最も重要なことは、オペレータだけでなく、周辺の全ての人々がケガをすることなく、安全に作業を行えることである。農水省の自動走行に関する安全性確保のガイドライン¹⁾では、無人自動運転農機のリスクを低減する方策の一つとして、トラクタ周囲の障害物を検知し、衝突前に自動的にトラクタを停止させるシステムを求めている。ま

た、農業機械の自動運転に関する国際規格(ISO18497)²⁾も存在しており、これらに基づき農研機構のロボット農機検査基準³⁾が策定されている。ロボット農機検査では、しゃがんだ人を想定した円柱を重ね合わせた高さ800mmの障害物モデルが定められており、無人自動運転の際にはこのモデルに接触する前に自動停止する必要がある。

3.2.2 多種の作業での安全性確保

耕うんや代かき作業は、車速1~3 km/h程度の車速帯で作業を行う。それに比べ、粗耕起や施肥作業は、5 km/h以上の車速帯で作業を行うのが一般的である。また、作業種別によって装着されるインプラメントのサイズや形状が異なる。

そのため、5 km/h以上の高車速作業や多種のインプラメントに対応するという汎用性を維持しつつ、人や障害物モデルに接触せず自動停止可能な障害物検知システムを構築することが課題となった。

3-3 自動走行制御向け RTK - GNSS ユニットの課題

汎用性の高い自動走行制御向けRTK-GNSSユニットを実現するため、VRS (Virtual Reference Station) といった広域基地局システムへの対応が課題となった。また、凹凸

のあるほ場においても車両の位置や方位を高精度かつ高レートに検出することも課題となった。

4. 開発技術

4-1 多種の作業に対応した自動走行技術

4.1.1 作業ごとに操舵制御を最適化

インプラメントの種類によって指示作業ラインへの進入精度の許容幅や判定項目を切り替えることで適切な走行精度と効率を実現した。具体的には、ハローによる代かき作業やプロキヤスによる施肥作業といった作業跡を多少ラップさせる作業は、作業跡が重なる範囲内であれば指示作業ラインの始点進入時の車両のずれを許容し、枕地での無駄な繰り返し動作を発生させない効率的な自動運転を実現した(図2)。

一方で、スタブルカルチは作業中に操舵しても車両方位を変化させることが困難であるため、指示作業ラインの始点到達時に車両の位置や方位ずれだけでなく、現在とその先で予測される操舵量が許容範囲内であることを確認してから作業を開始する。それにより、スタブルカルチでは、高精度な作業を実現した(図3)。

このようにインプラメントの種類に応じて適正な走行精度を

選択することで、高精度かつ高効率な自動運転を実現した。



図2 ハローの作業ルート
Fig. 2 Work Route of Harrow

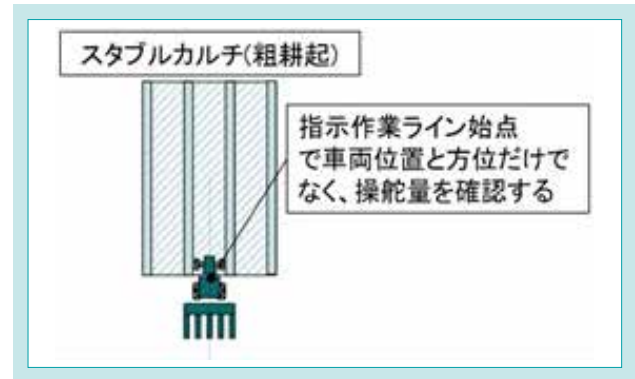


図3 スタブルカルチの作業ルート
Fig. 3 Work Route of Stubble Cultivator

4.1.2 枕地を荒らさない自動旋回制御と片ブレーキ制御

指示作業ラインの情報はあらかじめターミナルモニタから取得しており、指示作業ライン終点に到達すると次の指示作業ラインの開始位置、ライン方位、車両との位置関係から次の指示作業ラインへ進入する旋回円を生成する。旋回動作ではこの旋回円に沿って走行する。しかし、ほ場形状やインプラメントのサイズによっては旋回動作を行うための枕地領域が狭くなる場合がある。この場合、次の指示作業ラインへ進入するための旋回円へ直進して沿おうとすると、畦畔に繰り返し接近してしまう。そのため、切り返し動作が増加し、枕地を荒らす要因となる。そこで、車両と畔の距離を常に演算し、前方に畔接近を検知したときのみ後進して切り返し、車両両方の畔を検知した場合は安全な距離を確保して畔に沿って走行する制御とした。旋回経路を固定して走行させるのではなく、旋回円を目指しつつ車両の状況に応じて周辺の畔を回避することで、複雑なほ場形状でも切り返し動作の少ない自動旋回制御とした(図4)。

また、ホイール仕様とパワクロ仕様とは同じ操舵角に対して旋回径が異なる。そこで、操舵角制御や片ブレーキ制御をそれぞれの仕様ごとに調整した。

これらのことにより、枕地を荒らさない自動旋回動作を実現した。

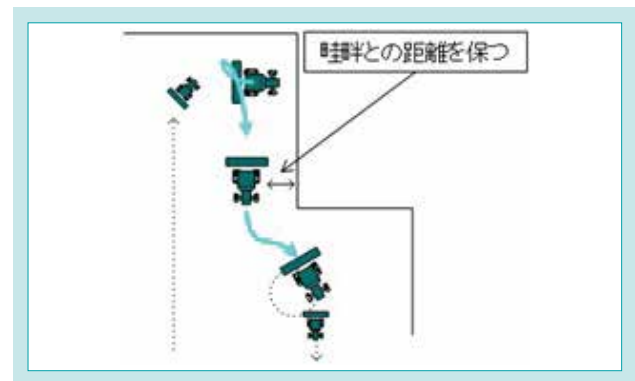


図4 畦畔に沿った旋回ルート
Fig. 4 Turning Route Along the Ridge

4.1.3 既耕地を踏まない効率的なルート生成

耕うん作業の枕地内周作業開始・終了位置が単純にオペレータからの距離が近くなるよう、ほ場出入口から最短の場所となる作業ルートを生成してしまうと、開始位置付近の既耕地を終了位置に到達したときに踏み込んでしまう場合がある(図5)。既耕地に踏み込んでしまうと、そのタ

イヤ痕を消すための作業が増えてしまい、作業効率が悪化してしまう。そこで、最内周作業の開始・終了位置をほ場出入口付近の左旋回の角部に設定するルート生成制御とし、効率的に手動での枕地耕作を開始できるようにした(図6)。

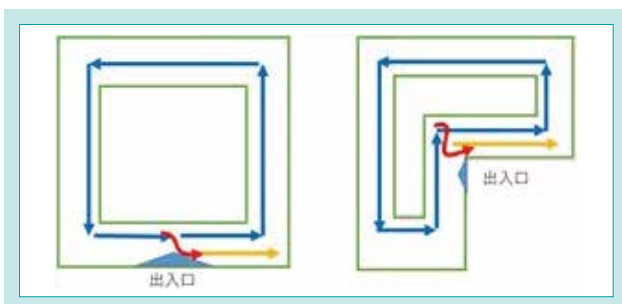


図5 従来の作業終了位置
Fig. 5 Conventional Work End Point

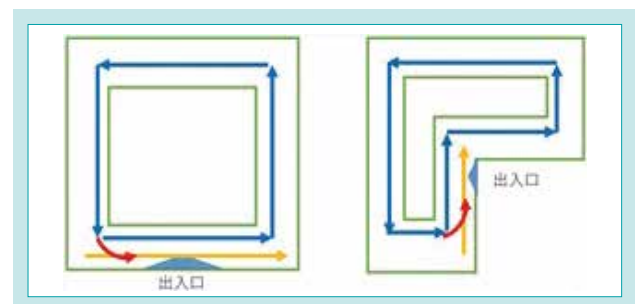


図6 改良した作業終了位置
Fig. 6 Improved Work End Point

耕うん作業の枕地内周作業で右旋回時に中央部の既耕地を前輪が踏んでタイヤ痕を残さないよう、枕地作業ラインの長さを最適化するアルゴリズムを開発した。具体的には、枕地作業ラインの次の作業ラインが右旋回時のみ中央部の既耕地を踏む可能性があるため、枕地各作業ラインの終点で旋回判定処理を行っている。判定方法は

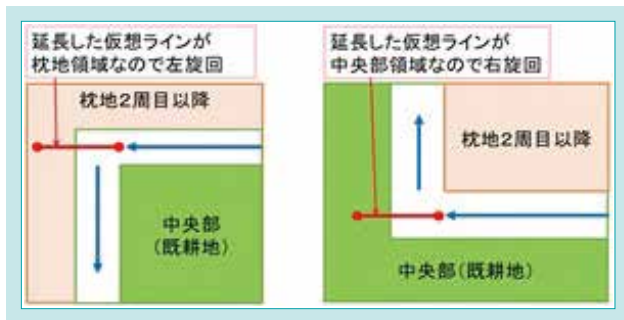


図 7 左旋回か右旋回の判定
Fig. 7 Judgment of Left Turn or Right Turn

終点から延長した仮想ラインが一つ外側の枕地作業領域に入れば左旋回、そうでなければ右旋回という判定処理を行っている(図7)。右旋回と判定したラインの終点は車両前輪が中央部既耕地直前になるように短くし、更に実測した車両の旋回半径分を短くすることで、旋回を考慮した中央部既耕地を踏まない経路の改良を実現した(図8)。

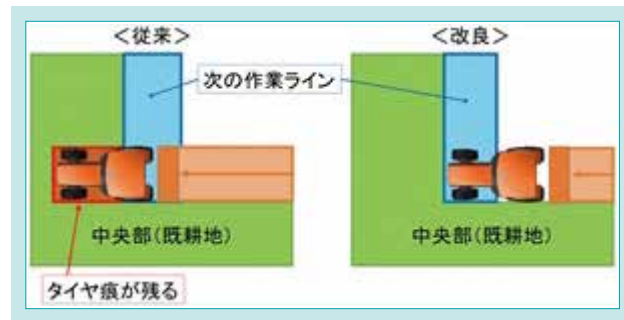


図 8 右旋回ルート
Fig. 8 Right Turn Route

4-2 多種の作業に対応した障害物検知技術

4.2.1 高速作業に対応した障害物検知システム開発

MR1000Aでは、障害物を検知するセンサとしてレーザスキャナと超音波ソナーを使用し、障害物検知システムを構築している。選定したレーザスキャナは、一つの平面を広角にスキャンすることができるのが特徴である。超音波ソナーは、検知距離は短いものの、近傍空間の障害物との距離を比較的精度よく検出することができるのが特徴である。

車速が速い場合は、車体が停止するまでの制動距離が長くなる。そのため、高車速作業で障害物に接触せずトラクタを停止させるためには、低車速作業時に比べ、早めに障害物を検知しブレーキを掛ける制動動作が必要である。

そこで、MR1000Aにおいてはレーザスキャナをボンネットより前の車両の前方左右に配置し、トラクタと障害物との距離が十分遠い段階で検知できるようにした。

また、左右方向に関しても左右から第三者がトラクタに

接近してきても検知できかつ、全ての操舵角において前輪タイヤを障害物として誤検出しない配置とすることで自動運転制御に対して操舵角の制約をなくした。レーザスキャナの死角であり、トラクタの発進時に人がいる可能性が考えられる補助ステップ付近には超音波ソナーを配置した(図9)。

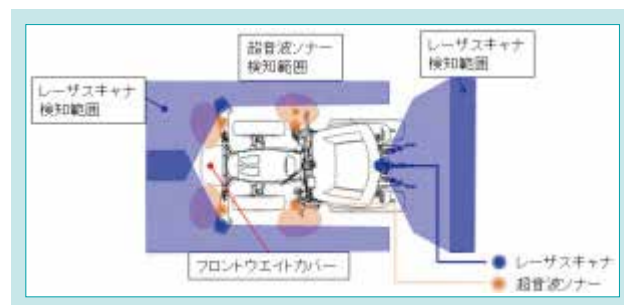


図 9 障害物検知システム
Fig. 9 Object Detection System

4.2.2 多種インプラメント対応の検出エリア設計

トラクタは前輪にかかる荷重が軽くなり過ぎると操舵が効かなくなる。そのため、前輪にかかる荷重を車両総質量の20%以上に保てるよう、使用するインプラメントに応じた枚数のフロントウエイトを装着する必要がある。MR1000Aにおいては、装着するフロントウエイトの枚数の違いにより生じる障害物検知センサの死角範囲を小さくするため、フロントウエイトカバーを使用した(図10)。

後進時に車両後方の障害物を検知するためのレーザスキャナは、旋回時にインプラメントを上げた際、各インプラ

メントを障害物として誤検出しない装着角度に調整した。また、車両の傾きにより地面を誤検知することや刈取り後の二番穂を障害物として検知せず、障害物だけを検出できるようにレーザスキャナの検知範囲を調整した(図11)。

また、作業車速やインプラメントのサイズに応じて、レーザスキャナの検知範囲を変更する制御システムを開発した。それにより、旋回時に畦畔を障害物と誤判定しない自動運転を可能にした。



図 10 フロントウエイトカバー付近の検知エリア
Fig. 10 Detection Area Near the Front Weight Cover

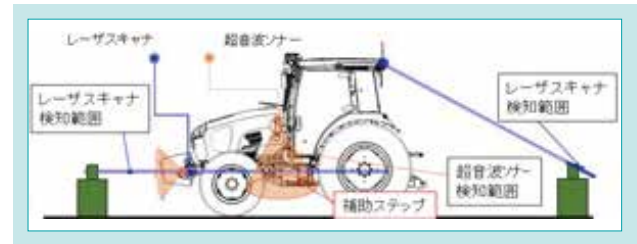


図 11 障害物検知エリア
Fig. 11 Detection Area

4-3 RTK-GNSS ユニットの技術

4.3.1 広域基地局システムへの対応

既に製品化しているアグリロボ向けの一体型RTK-GNSSユニットのアップグレード版として、広域基地局システムに対応した、より広範囲で高精度な測位を可能とする農機の自動走行に最適なRTK-GNSSユニットを独自に開発した。

従来のRTK-GNSSユニットでは、ローカル基地局(可搬型の三脚方式)や固定基地局(市役所やJAIに設置)を活用し、基線長(基地局-移動局間距離)5 km以内でのサービスを提供してきた。そして今回、より広範囲で汎用性の高いサービスを提供するため、適正な受信機の選定、及びGNSSアンテナを自社開発することで、VRS方式と長基線長への対応を行い、サービス提供エリアの拡大を実現した。VRS方式への対応により、携帯電話網内であれば、RTK補正情報が受信可能となり、ユーザ側での基地局設置の煩わしさが解消された。また、

長基線長への対応(主に固定基地局における簡易無線方式やN-Trip方式の活用時)として、以前は各基地局から5 km以内での使用に限られていたが、受信機のグレードアップにより、10 km以内と使用可能エリアの拡大を実現した(図12)。



図 12 広域基地局システム
Fig. 12 Wide Area Base Station System

4.3.2 ハイブリッド航法による高精度位置・方位検出

構成機器を集約した一体型RTK-GNSSユニットに搭載しているIMU(Inertial Measurement Unit)を活用したGNSS/IMUハイブリッド航法の実現により、凹凸したほ場でも高精度・高レートな位置や方位出力を可能としている。更には、本機情報(本

機)の車速や操舵角、マップ情報等から生成される本機の走行状態を活用し、各走行状態に応じた最適な処理を独自に演算することで、農機の自動走行に必須である高精度かつ高レートな位置(3 cm以内)や方位角(1°以内)の検出を実現した。

5. おわりに

高精度・高効率かつ安全に省力化・軽労化を実現し、多種の作業及び広域基地局システムに対応した汎用性の高い自動運転トラクタとしてMR1000Aを開発した。このトラクタが担い手農家の労働力不足の解決や作業負担の軽減に貢献できた。今後は、

市場からの評価や要望をもとに、さらなる汎用性の向上を進めていきたい。今後の目標としては、無人での完全自動化の実現やKSAS(クボタスマートアグリシステム)との連携強化に向けた取り組みを推進していく。

SDGs のターゲットへの貢献

8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 無人自動運転トラクタで就農者の省力化に貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 農業における労働力不足の解決に貢献

参考文献

- 1) 農水省: 農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン (令和2年(2020年)3月27日付け元生産第1897号農林水産省生産局長通知)
- 2) ISO 18497: Agricultural machinery and tractors - Safety of highly automated agricultural machines
- 3) 農研機構: ロボット・自動化農機検査の主要な実施方法及び基準—ロボット農機(トラクター)用—

国内向け自脱型コンバイン DR6130Aの開発

Development of the Head-feeding Combine Harvester DR6130A for Domestic Market

収穫機技術部

日本の農業は、離農や高齢化による農家戸数減少により、担い手農家への農地集約が加速している。担い手農家一戸あたりのほ場面積が拡大しており、農業機械にはさらなる作業効率向上、省人・省力化の実現が求められている。こうした声に応えるため、クボタは130馬力の大型エンジンを搭載し、作業効率を大幅に向上した自動運転アシスト機能付き自脱型コンバイン「DR6130A」を開発した。本稿では①作物適応性を高めた脱穀機の開発、②グレタンクの側板オープン機構による清掃性向上、③自動運転アシスト機能について述べる。

【キーワード】

コンバイン、作物適応性、清掃性、自動運転、走行制御

In Japan's agriculture, farmland consolidation has accelerated due to a decline in the number of farms as a result of the aging of the population and the abandonment of farming. As the area of cultivated fields per farm increases, agricultural machinery is required to further improve work efficiency and save manpower and labor. To respond to such exigencies, Kubota has developed the Head-Feeding combine harvester "DR 6130 A" equipped with a large 130 horsepower engine. The harvester features an automatic operation assist function in addition to a major improvement in work efficiency. This paper describes (1) the development of a thresher with improved crop adaptability, (2) improvement of cleanability brought about by the side plate opening mechanism of the grain tank, (3) the automatic operation assist function.

【Key Word】

Combine Harvester, Adaptability, Cleanability, Autonomous Driving, Driving Control

関連する SDGs



1. はじめに

日本の農業は、農家戸数減少が続く中、政府主導で、担い手農家への農地集約化や多収量米、飼料用米の奨励などが進められている。それにともない、担い手農家の扱うほ場面積・品種が増加し、これまで以上にコンバインに対するニーズは多様化している。担い手農家の営農効率化に貢献すべく、高効率、高耐久、高メンテナンス性に加え、自動運転アシスト機能を備えることで、さらなる省人化・省力化を達成するコンバイン「DR6130A」を開発した(図1)。



図1 自動運転アシスト機能付き 自脱型コンバイン「DR6130A」
Fig. 1 Autonomous Driving Assist Combine Harvester DR6130A

2. 開発のコンセプトと目標

2-1 開発のコンセプト

担い手農家が抱える経営課題(作業効率化、軽労化、人員確保)を解決するため、開発機では作業効率・居住性・操作性・メンテナンス性・耐久性・ICT(Information and Communication Technology)機能全てを向上させ、さらなる営農効率化を実現するコンバインを目指した。

開発コンセプトは、「次世代の担い手農家に、国内業界No.1の価値を提供するフラグシップコンバイン」とした。

2-2 開発目標

各開発目標は以下のとおりとした。

(1) 脱穀機の性能向上

業界最速の刈取り作業速度に対応する処理能力と、さまざまな作物に対する高い適応性を有する高性能な脱穀機を目指し、現行機比で脱こくロス率:10%低減、ワラ混入率:30%低減すること。

本稿では開発項目の内、以下3点について述べる。

- ① 作物適応性を高めた脱穀機の開発
- ② グレンタンクの側板オープン機構による清掃性向上
- ③ 自動運転アシスト機能

(2) 清掃性の向上

品種切替え時の清掃性向上のため、グレンタンク内清掃時間を半減すること。

(3) 自動運転による省人・省力化

自脱型コンバインに適した自動運転アシスト機能により、効率的な作業を実現すること。

3. 解決すべき技術課題

3-1 作物適応性の拡大

脱穀機の性能には、収穫物の回収「ロス」低減と、回収した収穫物への「ワラ混入」の低減が求められる(図2)。一般的にこぎ残りロス低減のための手段であるこぎ胴の回転数増加や、こぎ際の打撃力増加はワラ混入を促進してしまう。また、これらの傾向は作物条件によっても異なる。そのため、高性能な脱穀機を実現するには、さまざまな作物条件下で「ロ

ス」の低減と「ワラ混入」の低減を両立する、作物適応性の拡大が課題であった。



図2 こぎ残りロス(左)とワラ混入(右)の例

Fig. 2 Sample Image of “Loss(Left)” and “Contamination(Right)”

3-2 品種切替え時の清掃性向上

1台で多品種の作物を収穫するニーズが高まり、異種混粒防止のために徹底した清掃が求められている。従来機は、機体下面側に掃除口を設けることで清掃性を確保してい

たが、これまで以上に清掃頻度が高まっているため、簡易な手順で清掃できる構造の実現が課題であった。

3-3 自脱型コンバイン特有の自動運転制御技術

クボタでは業界に先駆け、自動運転アシスト機能を搭載した普通型コンバイン「WRH1200A」を市場投入した(図3)。コア技術であるマップ生成と走行制御を自脱型コンバインにも採用するが、自脱型コンバイン特有の、刈取り部と作物の位置関係を正確に合わせる“条合わせ”への対応と、クローラによって押し出された泥が隣接する作物を押しつけてしまう“泥寄せ”への対応が課題であった。



図3 自動運転アシスト機能付きコンバイン「WRH1200A」

Fig. 3 Autonomous Driving Assist Combine Harvester WRH1200A

4. 開発技術

4-1 高性能脱穀機

4.1.1 こぎ室部の開発

「ロス」と「ワラ混入」の低減を両立させるため、こぎ室部ではワラ屑の発生を抑制しつつ、収穫物を確実に脱粒し回収することが必要である。開発機のこぎ室部では、従来機比でこぎ室部での「穀粒ロス回収率30%向上」と「ワラ発生率10%減」を実現できる処理能力の向上を目指した。処理能力向上のために脱穀機の大型化と各パラメータの最適化に取り組んだ。主な仕様諸元を表1に、概略図を図4に示す。

こぎ胴長さを延長することで穀粒の回収率を向上した。また、同じ高さのこぎ歯を配置していた従来機に対し、開発機ではこぎ胴前方は背の低いこぎ歯、こぎ胴後方は背の高いこぎ歯を配置することで、穀粒の損傷とワラ発生を

抑制しつつ確実な脱粒を促す構成とした。更に、作物搬送速度を20%増速することで、作物の層厚を抑制してワラ発生を低減し、こぎ歯の配列を最適化することで、搬送する作物とこぎ歯の接触回数を従来機と同等にして脱粒処理能力を確保した。

これにより、従来機比でこぎ室部での「穀粒ロス回収率43%向上」、「ワラ発生率11%低減」を達成した。

表 1 脱穀機主要諸元

Table 1 Specifications of the Threshing Machine

| 項目 | 従来機 | 開発機 | 変化率 |
|-------------|------|------|------|
| こぎ胴長さL[mm] | 1130 | 1300 | +15% |
| こぎ胴径D[mm] | 424 | 454 | +7% |
| 作物搬送速度[m/s] | 0.97 | 1.17 | +20% |

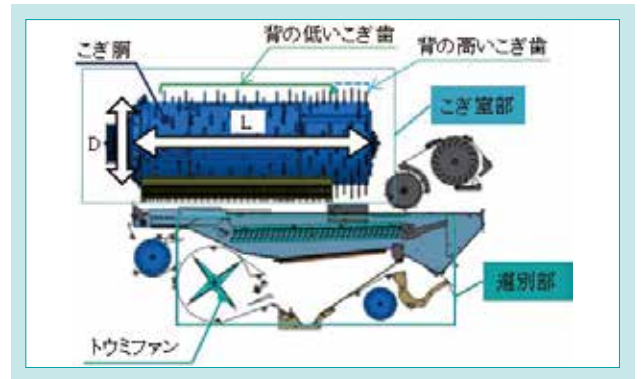


図 4 脱穀機 概略図

Fig. 4 Schematics of the Threshing Machine

4.1.2 選別部の開発

脱穀機の高性能化には、選別部での風選性能の向上が不可欠である。本開発では選別部の風量分布に影響を及ぼす因子が多数存在することに対し、流体解析と品質工学を用いた手法により分析を行い、効率的な選別部開発に取り組んだ。風量分布の最適化の基準は、適正な風量の領域を拡大することとした。その結果、選別部の高さ方向を拡大し、トウミファンの風量を20%高めることで、選

別部での適正な風量領域を従来機比で23%拡大し、広範囲で適正な風量分布とした(図5)。これにより、「ロス」の要因となる主選別部での風量過大領域や、「ワラ混入」の要因となる選別後部での風量不足領域を解消した。

この結果を元に試作機に反映し、実刈作業での確認により、従来機比で選別部のみでの「ロス率9%低減」、「ワラ混入率13%低減」を達成した。

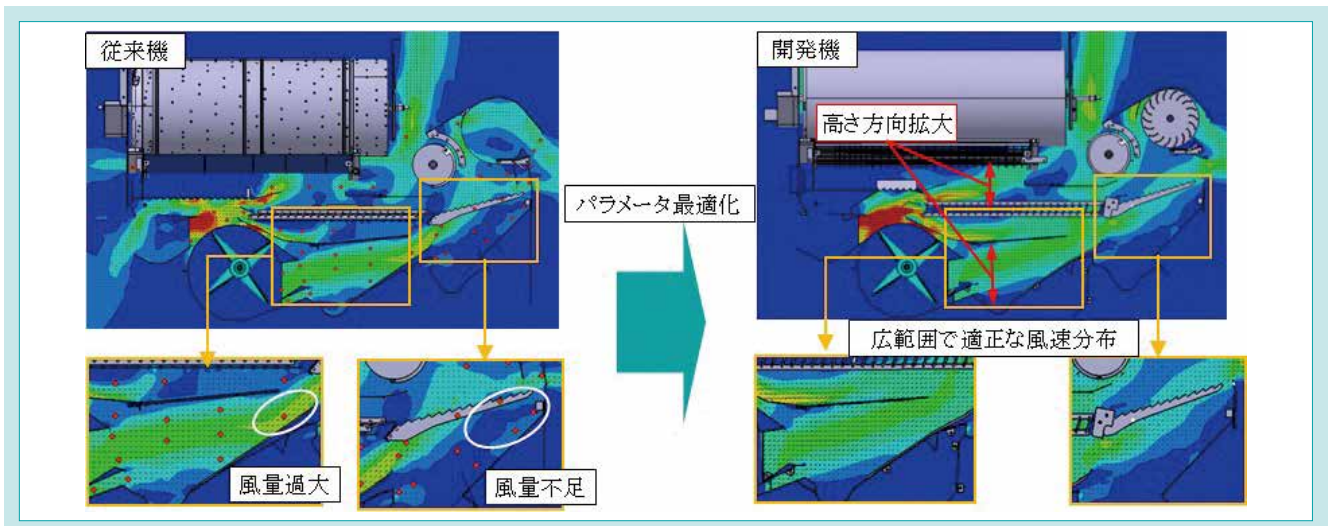


図 5 解析結果

Fig. 5 Analysis Results

4.1.3 成果

性能評価として、全国各地でさまざまな品種の実作作業を実施し、従来機(6条刈、車速2.0m/s)と開発機(6条刈、車速2.05m/s)を比較した。結果の一部を図6に示す。

(データ比較は絶対値ではなく全体に占める割合を使用)
 開発機では脱こく로스、ワラ混入ともに低減し、特にワラ混入率は50%以上の低減を達成した。

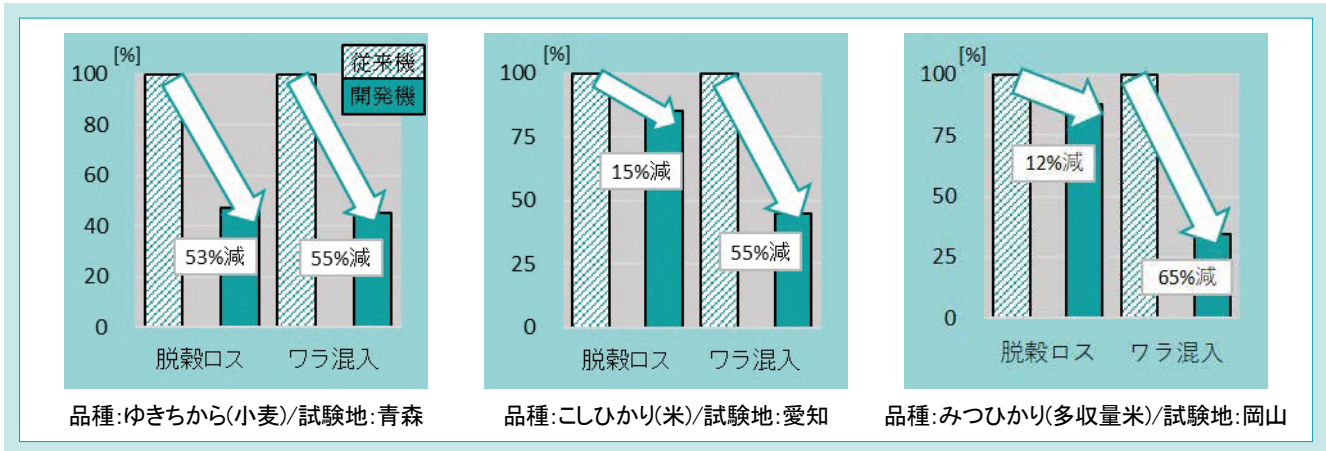


図6 性能試験結果
 Fig. 6 Performance Test Results

4-2 高メンテナンス性

多品種への対応が進んでいることから、収穫作物を切り替える際の清掃性に対する要望が高まっている。特に食糧米に飼料米が混入してしまうと、品質低下を招くため、徹底した清掃を行う必要がある。この課題を解決するために行った、グレンタンク内の清掃性向上について述べる。

従来機においては、下部に設けた掃除口や機体上部の点検口から実施していたが、開口面積が小さく、清掃時間が長かかっていた。開発機ではグレンタンクの側板全体を工具なしで開閉可能とする新構造を開発し、ワンタッチでタンク内へのアクセスを可能とした。これにより大幅に清掃性を向上させた(図7)。

従来の考え方を踏襲した強度確保を実現しつつ、新構造を実現するため、側板近傍に支柱となる丸棒を設け、これを中継したロック構造とした。側板全体を開閉式にするため、モミ漏れへの対策が課題であった。これを解決するため、支柱となる丸棒のほかに、上下両端にロック構造を設け、モミ充填時の内圧を受けた際もモミが漏れない密閉性を実現した(図8)。

これにより、タンク内の清掃時間は従来機で約25分要していたが、新規構造では約6分(75%短縮)にすることができた。また、モミが湿っていてタンク壁面に貼りついてしまうような場合でも、容易に清掃することができるようになった。

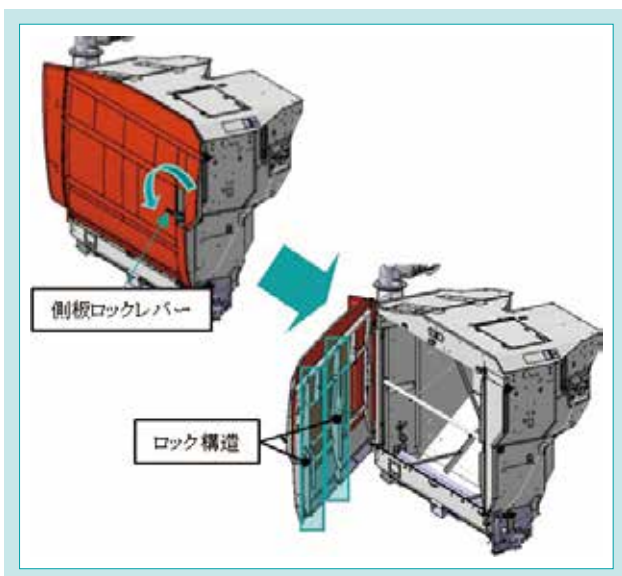


図7 グレンタンク側板オープン
 Fig. 7 Easy Maintenance of Grain Tank

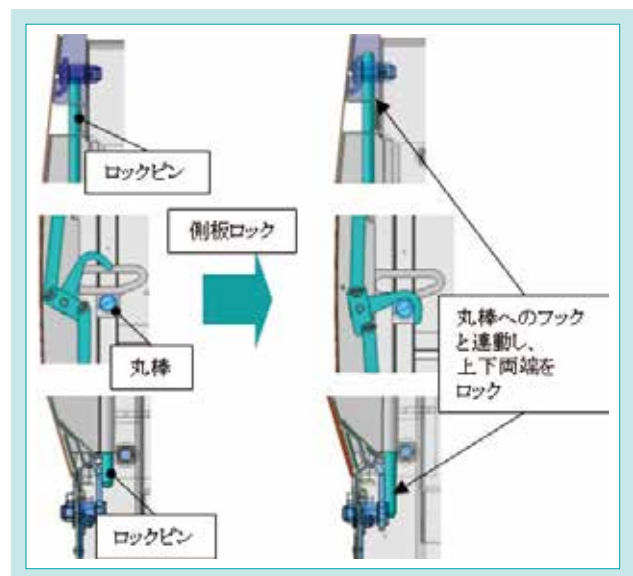


図8 ロック機構
 Fig. 8 Locking Mechanism

4-3 自動走行制御

4.3.1 自脱型コンバインでの自動運転の課題

クボタでは2018年に普通型自動運転アシスト機能付きコンバインWRH1200Aの量産を開始した。この機能は、周囲刈りを2~3周行った際の軌跡から最外周と最内周を算出し、その結果からほ場外形と未刈り領域を算出して、残りを自動運転で刈り取るものである。しかし、自脱型コンバインと普通型コンバインでは多くの相違点があり、普通型向けに開発された機能を自脱型向けに変更する必要がある。例えば、刈取り部全面で収穫できる普通型コンバインに対し、自脱型コンバインは、刈取り部先端のデバイダ間ごとに稲株を入れて刈取りをしなければならない(図9)。また、DR6130Aは刈取りの右端とクローラの右端がほぼ同じ位置にある。そのため「逆刈り」という作物が機体の右に残るような刈り方をした際、クローラにより寄せられた泥が、刈取りに支障をきたす可能性があった(図10)。そのためWRH1200Aの開発で考案した『匠刈り』という走行制御をそのまま展開することができず、自脱型独自の走行制御を考案する必要がある。

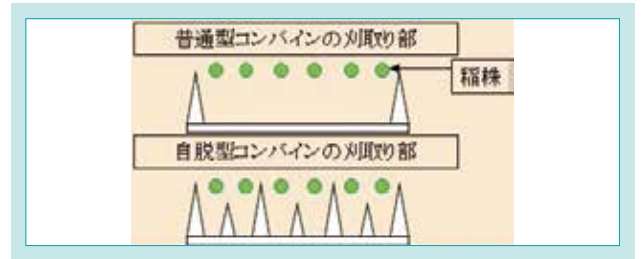


図9 刈取り部比較

Fig. 9 Comparison Image of Reaper

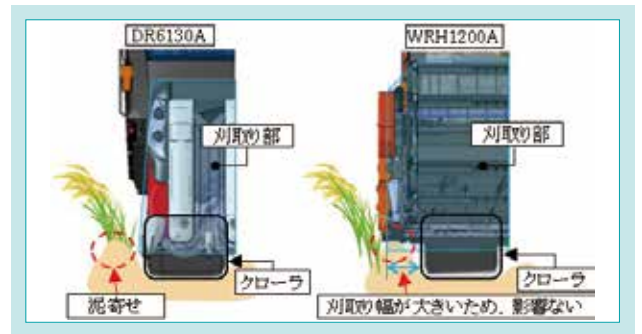


図10 刈取り部とクローラの位置関係

Fig. 10 Relative Position Between Reaper and Crawler

4.3.2 条刈りの実現

稲株の隙間は地域によって異なるため、自動運転用のルートを作成する際、植付けた方向と間隔を設定することで、条の位置の推定を行うこととした(図11)。その推定に基づき、常に6条分の稲を収穫することができる経路を生成することで、無駄のない刈取りを実現した。

ルート作成は、コンバイン側で条を検出する機能を有していないことから、オペレータが条刈りをした際、等間隔に植付けられているものとして作成している。そのため、ルート作成後に上記条件に当てはまらない場合、ユーザが条を容易に調整できる機能が必要であった。そこで開発したのが『ラインシフト機能』である。姿勢保持用のグリップにスイッチを配置し、そのスイッチを操作することによって走行ラインを10cmシフトできるようにした。これにより、株を割ってしまう経路の時に、この機能を使用すること

で株を割らない経路にシフトすることが可能である(図12)。



図11 設定画面

Fig. 11 Display Image of Setting



図12 「ラインシフト機能」

Fig. 12 About New Function "LineShift"

4.3.3 効率的な経路の作成

自脱型コンバインでは、刈取り部とクローラの位置関係から、逆刈りを可能な限り避ける必要があった。そこで「収量予測機能」を活用し、グレンタンク内のモミが満タンになる面積でほ場を区切り、ブロックを作成するような刈り方をする事で、逆刈り回数の少ない効率的な経路とした(図13)。この経路では刈取りを進めるにつれて、徐々に旋回径が小さくなり、最後は隣接したラインを刈取りすることになる。コンバインは、トラクタや田植機と異なり、隣接のラインに入れるほど旋回半径が小さくないため、未刈りエリアに応じた切り返しの動作が必要である。そこで、WRH1200Aでは一つしかなかった切り返しの動作パターンを新しく2つ開発した(図14)。既存の旋回方法では1回の旋回に40~45秒程度かかっていたが、新しく開発した旋回では30~35秒程度に短縮し、効率的な作業を実現した。

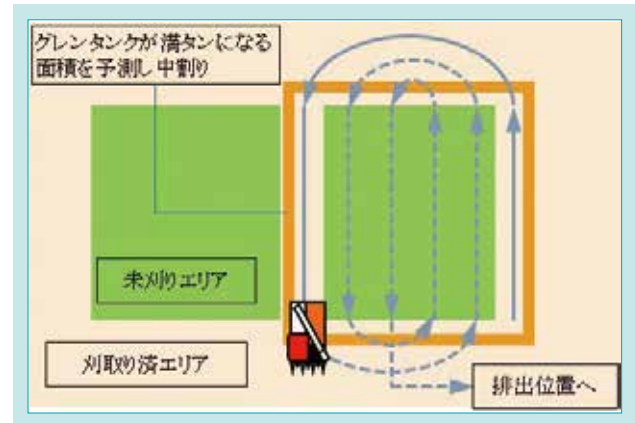


図 13 「収量予測機能」による刈取り範囲選定
Fig. 13 Automatic Setting Area Using Yield Prediction

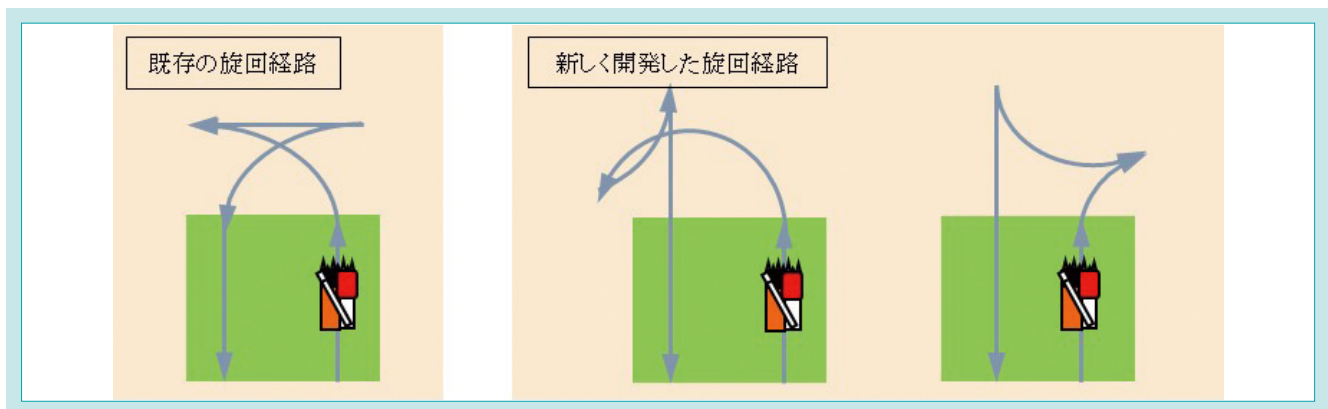


図 14 切り返しパターン
Fig. 14 New Machine Turns

5. おわりに

国内農家の経営課題解決のため「次世代の担い手農家に、国内業界No.1の価値を提供するフラグシップコンバイン」をコンセプトに開発に取り組んだ。

- (1)開発した脱穀機により、開発目標の脱こく로스率10%減、ワラ混入率30%減を達成した。
- (2)グレンタンク側板オープン機構により、清掃時間を75%短縮した。
- (3)自脱型コンバイン特有の課題に対し、「ラインシフト機能」「切り返し動作パターンの拡充」により対応し、複雑なコンバイン操作の軽労化を実現した。

今回開発したコンバインは、本稿での内容のほか、「ワイドスペースキャビンによる居住性向上」「耐久性を高めた新型ト

ラックフレーム」「排ワラチェーン・カッタ後部カバーのオープン機構」等多くの訴求ポイントを備えており、担い手農家の営農効率化に貢献できる機械である。

現在の自動運転アシスト機能はユーザが乗車し、周囲の安全や作業状態を監視する必要があるが、最終的な目標は無人運転の実現である。そのためには、作物と障害物の違いを検知できる低価格センサの開発や作物の詰まりへの対策などが必要である。

無人運転実現のためには、多くの課題があるが、国内農業の人手不足・高齢化といった重要な課題を解決するために、クボタグループ一丸で、取り組んでいく。

SDGs のターゲットへの貢献

- 2.3 農業生産性及び所得の増加 業界最大の脱穀機をはじめとした高効率コンバインにより営農効率化に貢献
- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 自動運転コンバインで就農者の省人・省力化に貢献
- 9.2 包括的かつ持続可能な産業基盤の強化 日本農業の労働力不足解決に貢献

小型田植機AWシリーズの開発

Development of Small Rice Transplanter AW Series

移植機技術部

国内田植機の総需要は減少傾向にあるが、小型機の割合は約4割を維持し続ける重要なクラスである。このたびはクボタは小型機ユーザの稲作継続意欲の向上及びクボタ田植機の事業量・シェア維持拡大を狙いフルモデルチェンジ機AWシリーズを開発した。小型機ユーザの小規模農家は兼業で高齢者割合が特に高く機械に不慣れなため簡単・安心・楽をコンセプトに多くの自動化機能を搭載させた。本稿では①小型田植機への「スーパーゆう優ターン」機能搭載②多数の新機能を織り込みつつクラス最軽量車体に仕上げた開発技術を紹介する。

【キーワード】

田植機、自動化、小規模農家、簡単・安心・楽

Although the total demand for rice transplanters in Japan is declining, the ratio of small-sized rice transplanters is an important class that continues to maintain about a 40% share of the market. Kubota has developed the AW series of fully remodeled machines with the aim of increasing the motivation of small machine users to continue rice cultivation and maintaining and expanding the business volume and market share of Kubota rice transplanters overall. Small-scale farmers who are small machine users are part-time farmers with a particularly high proportion of elderly people, who are consequently unfamiliar with machinery. Therefore, the rice transplanter was equipped with many automation functions based on the concept of simplicity, security, and comfort. This paper introduces (1) development of addition of "Super Yu Yu Turn" to our line of small class machines and (2) development technology of the lightest machine in its class.

【Key Word】

Rice Transplanter, Automation, Small-scale Farmer, Simplicity・Security・Comfort

関連する SDGs



1. はじめに

国内の乗用田植機市場全体は減少傾向にあるが、小型田植機は、台数比率で約4割を維持している重要な位置づけの機種である(図1)。また、国内の稲作ほ場の4割は中山間地にあり、ほ場の集約や機械の大型化が困難であることから小型田植機が求められている。

自社の国内田植機の開発動向として、中型・大型では、担い手向けのGPS直進キープ機能等の先進機能を搭載したNWシリーズを2018年より発売している。一方、小型のメイン機種ZP-Lシリーズは、小規模農家向けの手動操作によるシンプルな田植機

であり、重要なクラスであった。このたびはクボタは、競争力のある新機種を市場投入すべく、フルモデルチェンジ機AW(アスウェル)シリーズの開発を行った(図2)。

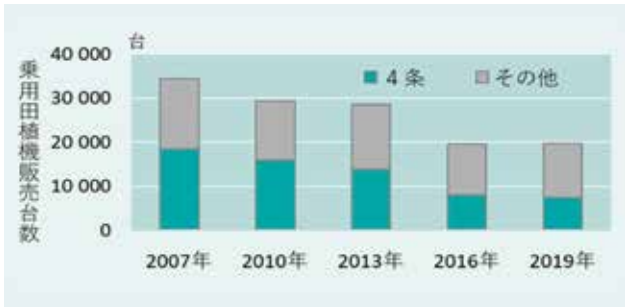


図1 国内田植機の販売台数変化
Fig. 1 Changes in Domestic Rice Transplanters



図2 フルモデルチェンジ機 AW シリーズ
Fig. 2 Full Model Change Machine AW Series

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

小型田植機のターゲットである小規模農家は、兼業農家や高齢者比率が高く、田植機の操作に不慣れ、操作が不安、田植え仕事が重労働であると感じている。このような課題を抱える小型田植機ユーザに対して「もっと簡単・安心・楽ができる価格を抑えた小型田植機」をコンセプトに開発を行った。コンセプトを実現させるため、主に以下の開発を行った。

- ①ラクラク操作を実現するため、手動レバー操作から手元レバースイッチによる電動操作化
- ②旋回操作が簡単・安心・楽になるスーパーゆう優ターンの小型機への搭載
- ③湿田でも安心して走行できる、軽量・バランス車体の開発
- ④簡単・安心・楽を実現するその他新機能の開発

2-2 目標値

- (1) 簡単・安心・楽を実現する新機能を搭載し、小型田植機ユーザが求めやすいよう販売価格を現行機+5万円以内に抑える。
- (2) 走破性の向上
軽量化と重量バランスの向上により、深田でもより安心して走破できる車体を開発する。

表1 開発目標
Table 1 Development Goals

| | |
|--------|------------------------------|
| 価格 | 多くの新機能を搭載しつつ、価格アップは現行機+5万円まで |
| 質量 | 業界クラス最軽量 |
| 重量バランス | 現行機比+10%以上前寄りに向上 |

3. 解決すべき技術課題

(1) 自動化機能の小型機独自開発

中・大型機で搭載している「スーパーゆう優ターン」等の自動化機能を小型機にも搭載する。現行の小型機は、手動操作によるメカ構造のため、各作動部を電動化する必要がある。中・大型機と同じ電動化機構を搭載すると、スペック及びコストが合わないため、小型機のスペックに適した低コストな電動化機構の開発が課題であった。

(2) 軽量化と前後バランスの確保

湿田で車輪が沈下しないことと、走行負荷を低減させるために軽さが必要であり、また、ほ場で後輪の駆動力から受ける反力により機体が浮き上がるのを抑えるために最適な前後バランスが必要である。この軽さと前後バランスを両立させた車体の開発が課題であった。

4. 開発技術

4-1 小型田植機への「スーパーゆう優ターン」搭載技術

4.1.1 小型田植機への「スーパーゆう優ターン」搭載技術の課題

「スーパーゆう優ターン」とはハンドル操作一つで簡単に旋回作業をすることができるクボタ独自の機能である。

「スーパーゆう優ターン」を搭載していない機種では、旋回時に①植付け爪駆動の停止、②植付け部の上昇、③ハンドル操作で旋回、④植付け部の下降、⑤植え終わりと植え始めを揃える、⑥線引きマーカを出す、⑦植付け爪駆動の開始といった7つの工程を手動操作で行う必要があり、非常に煩雑である。本機能によりハンドル操作で旋回する以外を全て自動で行うことができる(図3)。

「スーパーゆう優ターン」はこれまで中・大型機のみを搭載されていたが、作業に不慣れなユーザが多く高齢者割合も高い小型機への搭載が望まれる。現行の小型機は、手動操作によるメカ構造のため「スーパーゆう優ターン」を搭載するためには以下の項目が課題である。

- (1)植付け部の昇降及び植付け爪駆動の入り切りの電動化
- (2)線引きマーカの昇降の電動化
- (3)制御に必要なセンサと調整機能の搭載



図3 各部位の説明

Fig. 3 Explanation of Each Part

4.1.2 植付け部の昇降及び植付け爪駆動の入り切りの電動化技術の解決策

既存の中・大型機では、植付け部の昇降は電磁バルブの制御と油圧シリンダで行っている。電磁バルブは、単に植付け部を昇降させるためだけではなく、高速応答弁によりほ場の凹凸に対して植付け部を素早く追従させる機能を有している。小型機は、中・大型機よりも車速が遅いため同等のスペックは必要ではなく、またコストも高いため小型機に適した電動化機構を開発した。

現行小型機と開発機の機構を図4に示す。現行の小型機は、手動レバーでメカバルブのスプールを操作し、油圧シリンダを作動させることで植付け部の昇降を行っている。ほ場の凹凸に追従して昇降する機能については、ほ場泥面との接地圧を検知するフロートとメカバルブがケーブルにより繋がっており作動する仕組みになっている。また、手動レバーと連動して動くクラッチロッドにより、植付け爪の駆動の入り切りも行う構造となっている。

開発機では、現行小型機の機構をベースに手動レバー部をモータにより電動化した。ほ場の凹凸に追従して昇降する機能については、従来機の機構を兼用した形となっている。このメカバルブとモータを組合せた電動化機構により、小型機の子速に適したほ場の凹凸への追従性能を維持しつつ、電磁バルブより低コストに植付け部の昇降の電動化を実現させた。また、植付け爪駆動の入り切りの電動化については、中・大型機では専用のモータを設けているが、現行小型機の機構を用いることで、同じ一つのモータで作動させており、低コスト化を実現した。

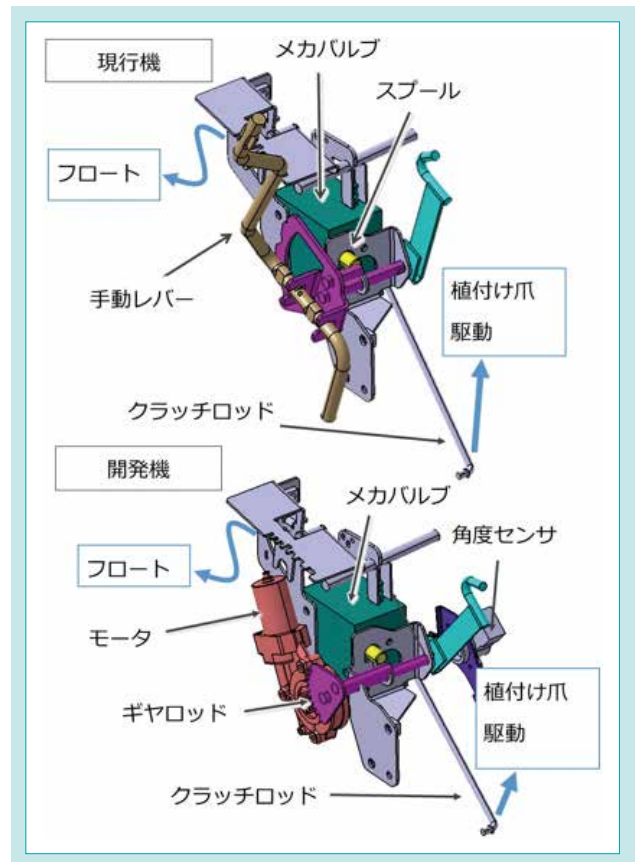


図4 植付け部の電動化

Fig. 4 Electrification Mechanism of Planting Part

4.1.3 線引きマーカの昇降の電動化技術の解決策

既存の中・大型機では、図5に示すようにモータの正転逆転により線引きマーカの上げ下げを行っており、モータは左右それぞれ搭載している。この構造について、小型機に適した、より低コストな電動化機構の開発を行った。

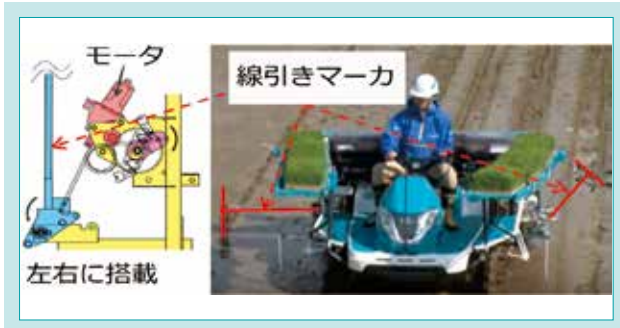


図5 中・大型機の線引きマーカ
Fig. 5 Line Marker for Medium and Large Class

現行小型機と開発機の機構を図6に示す。現行の小型機は、①手動レバーを操作すると、②緑のステーがスライドし、③オレンジのロックアームが押されてロックが解除され片方の線引きマーカが自重で下降する。手動レバーを反対に動かすと、もう一方の線引きマーカが下降する。上昇は、植付け部の上昇と連動して上げられる仕組みになっている。

開発機では、現行小型機の構成から、手動レバーで作動する部位のみをモータにより電動化する機構にした。これにより現行機の実績のある基本構造を変えずに電動化を実現させた。また、中・大型機では左右で2つモータを搭載して

いるのに対し、開発機では、現行小型機の機構を用いることで、一つのモータで左右の線引きマーカの作動を行っており、低コスト化を実現した。

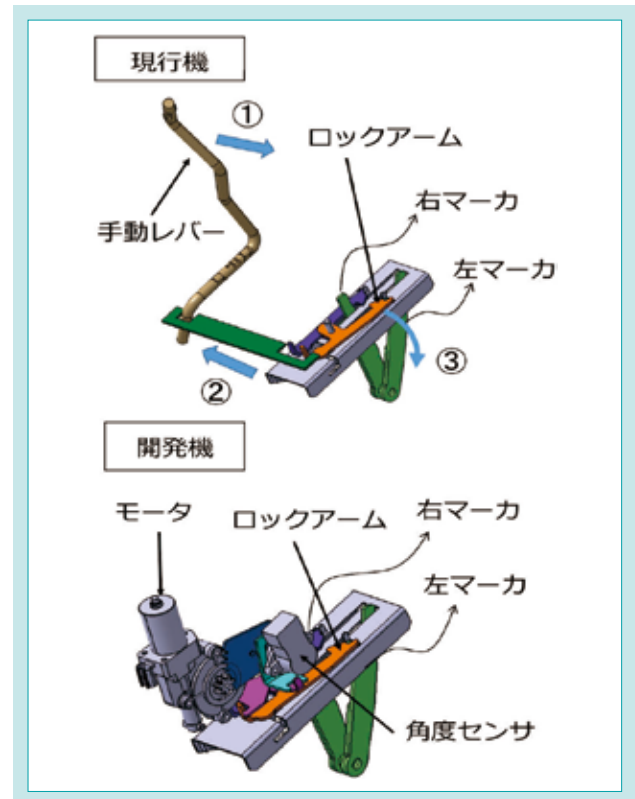


図6 線引きマーカの電動化
Fig. 6 Electrification Mechanism of Line Marker

4.1.4 制御に必要なセンサと調整機能の搭載技術の解決策

(1) 後輪回転数センサ

機体の進んだ距離を検出するための後輪回転数センサは、中・大型機と同様に搭載した。

(2) 前輪切れ角センサ

直進状態か旋回状態かを検出するための前輪切れ角センサは、既存の中・大型機では、図7に示すように、車体下側に配置されている。小型機では、車高が低いため泥によるリスクが高くなり、泥対策のためのケースやシールが必要となる。小型機に適したレイアウト及び低コストなセンサ機構を開発した。

開発機では、図7に示すように、機体下側ではなく、機体上方のハンドル下のスペースに配置した。構造は、螺旋溝のついたボス、ポテンショセンサ、ポテンシヨに取付けた螺旋溝の位置を検知するアームの3部品のみで構成している。螺旋溝のボスが、ステアリング軸と連動し、アームが螺旋溝を追従することで回転角度を検知する。機体上方に配置したことで泥のリスクを回避し、構成もシンプルなため低コスト化を実現した。



図7 前輪切れ角センサ
Fig. 7 Front Wheel Angle Sensor

(3) 植え始めタイミング調整機能

既存の中・大型機は、植え始め調整スイッチとON/OFFを操作し、モニターで確認しながら調整を行う(図8)。開発機ではモニターを用いず、ボリュームとラベルで表示した。モニターを用いないことで低コストであると同時に、機械操作に不慣れな小型機ユーザにとっては、ボリュームでの調整はシンプルで分かりやすい操作方法である。また、ON・OFFスイッチも別途設けることなく、ボリュームのポジションでON・OFFを判定するようにし低コスト化している(図8)。



図 8 調整機能
Fig. 8 Adjustment Function

4 - 2 軽量・バランス車体の開発技術

4.2.1 軽量・バランス車体の開発技術の課題

軽さと重量バランスを両立させた車体の開発が課題である。

4.2.2 軽量・バランス車体の開発技術の解決

(1) 一つ下の車格機種をベースに開発

軽量化を実現するために、車格が一つ下の機種をベースに開発を行った。ベース機から必要な部分のみを強度UPした軽量車体設計とし、強度と耐久性は極限テストや疲労強度試験を実施して確認した。

(2) バランス確保

田植機は、深いほ場では、後輪の駆動力の反力によって機体前方が後輪を軸にして浮き上がってしまうことがある(図9)。この浮き上がりは、後輪と重心との距離に関係している。

車体部を軽量化したのみでは、植付け部とのバランスが悪くなり重心位置が後ろ寄りになってしまう。機体前方にウエイトを搭載することでバランスを改善できるが、機体質量が増加し、走行負荷も増加する。開発機では、植付け部をアルミ化等により15 kg軽量化し、ホイールベースを75 mm延長してエンジンやミッション等の重量物を前方にレイアウトすることで、重心位置を現行機より前寄りにした(図10)。これにより、軽さとバランスの両立を実現した。結果として、車体質量は現行機から60 kg軽量化し、同クラスの外社機よりも90 kg以上差を付けて最軽量を実現した(表2)。機体前方の浮き上がりにくさを表す指標として、重心位置を用いた独自の指標で評価した結果、現行機より12%向上し、外社機に対して23%優位である。



図 9 負荷による機体の浮き上がり
Fig. 9 Lifting of the Body due to Load

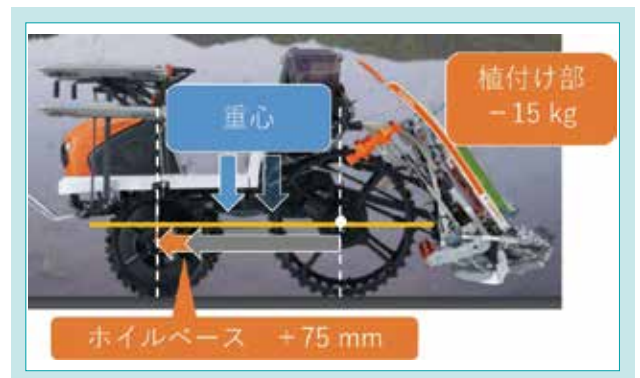


図 10 バランス改善
Fig. 10 Body Balance Improvement

また、軽量化したことにより、エンジン出力が同じでも、パワーウエイトレシオ(車体質量とエンジン定格馬力の比)を現行機より約14%向上させており、湿田走行時の余裕度

も向上している。以上の軽量・バランス車体の実現により、作業者が深田でも安心して作業できる田植機を開発した。

| 4条植 施肥有 | 質量 (kg) | 開発機との差 (kg) | パワーウエイトレシオ (kg/PS) |
|-------------|------------|----------------|-----------------------|
| クボタ 開発機 AW4 | 365 | - | 46.2 |
| 現行機 ZP45L | 425 | 60 | 53.8 |
| 他社機A | 455 | 90 | 59.1 |
| 他社機B | 479 | 114 | 60.7 |

表2 質量およびパワーウエイトレシオ比較
Table 2 Comparison of Weight and Power-Weight Ratio

5. おわりに

コンセプトの「もっと簡単・安心・楽ができる価格を抑えた小型田植機」に対して、本稿で紹介した「スーパーゆう優ターン」、「深田でもより安心して走れる軽量・バランス車体」以外にも、予備苗台を段積みとレールに切替え可能で前後にもスライドできる「スリーウェイ予備苗台」(図11)、ほ場の際まで植付けするのに便利な「簡単植えじまいボタン」(図12)といった業界初の新機能や、「eStop」、「モンロ標準装備」、「新2灯LEDマスコットランプ」、「新樹脂ステップ」等の多くのセールスポイントを搭載しつつ、現行機+5万円と価格を抑えた新小型田植機AW

シリーズの開発を実現した。従来の小型田植機は機能を絞ってシンプルな操作で使いやすさを実現してきた。一方、開発機では機械の操作に不慣れで高齢者割合が高い小型機ユーザーにとって難しく慣れが必要な操作を自動化させることで、より楽で使いやすい製品に仕上げた。

今後、小型田植機において、田植機をより簡単・安心・楽に使っていただけるための自動化を中心とした新機能の開発を進めていき、小規模農家の「続ける農業」をサポートしていく。



図11 スリーウェイ予備苗台
Fig. 11 3-Way Spare Seedling Stand



図12 簡単植えじまいボタン
Fig. 12 Easy Planting Stop Button

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 小規模農家の続ける農業に貢献

9.2 包摂的かつ持続可能な産業基盤の強化 日本農業の労働力不足解決に貢献

Development of T90 Series Lawn Tractor for North America

北米向けローントラクタ T90 シリーズの開発

Turf Engineering Department North America / Turf Engineering Department

Through Kubota's market surveys, it was determined that despite the growing popularity of zero-turn mowers, there is still a large consumer base for lawn tractors in North America. Because of this, the T90-Series lawn tractor was developed as an updated version of the T80-Series. Over time, many of Kubota's competitors surpassed the T80-Series in performance and specifications. Therefore, the challenge of the design team was to create a high-quality lawn tractor that exceeded the performance of competitor machines and reignite sales of the T-Series. By redesigning almost every aspect of the T80-Series including the frame, engine, mower decks, steering and operator controls we were able to achieve our goal. Once the new T90-Series was introduced into the market in 2018, sales for the T-Series lawn tractors more than doubled compared to 2017 total sales.

【Keyword】

Lawn Tractor, Performance, Turning Radius, Comfort

近年では乗用芝刈機においてゼロターンモアの人気が高まっているが、北米にはまだローントラクタの大きな消費基盤があることが市場調査で判明し、T80シリーズのモデルチェンジとしてT90シリーズを開発した。導入から月日が経過したT80シリーズの性能や仕様は多くの競合他社より劣っており、競合他社を上回る高品質のローントラクタを開発することで、Tシリーズの売り上げを回復させることが目的であった。フレーム、エンジン、モアデッキ、ステアリング、オペレータ制御など、ほぼすべての要素を設計し直し、T90シリーズを導入した2018年の売り上げは2017年の倍以上となった。

【キーワード】

ローントラクタ、性能、旋回半径、居住性

Related SDGs



1. Introduction

The T90-Series was the first small lawn tractor model to be introduced by Kubota since the T80-Series in 2008. Due to the age of the T80, the lack of updated features and the rapidly growing popularity of zero-turn mowers, sales of the T-Series have seen a sharp decrease over the last several years. However, there is still a large market for lawn tractors in North America. Although zero-turn mowers can be faster and more efficient than traditional lawn tractors, the comfort of a steering wheel and foot pedals is still desirable by many customers as opposed to control levers. Also, it was determined that many

customers who cut on hilly terrain often prefer a lawn tractor instead of a zero-turn mower because of the fixed steering system and easy ability to maintain a straight cutting path on slopes. The goal of the T90 development was to bring the T-Series up to date with Kubota's top competitors in the lawn tractor market. There were several issues with the current model T-Series that needed to be addressed in order to challenge the current competitor machines. The most important issues to be solved were cut quality, handling, and comfort.



Fig. 1 T80-Series
図 1 T80 シリーズ



Fig. 2 T90-Series
図 2 T90 シリーズ

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

The development concept of the T90 project was to design a new T-Series that would outperform the competitors' lawn tractors and offer a high quality but affordable machine to homeowners in North America. The new tractor needed to achieve a very high level of cut quality, have great maneuverability and handling, be comfortable, easy to operate and also very durable. The T90 was developed as three different sub models with available 42-inch and 48-inch mower decks. The base model includes a 20hp

Briggs & Stratton engine with 42-inch mower deck, $\frac{3}{4}$ -inch rear axle and a standard seat with spring suspension. The mid-range model includes a 21.5hp Kawasaki engine with 42-inch mower deck, $\frac{3}{4}$ -inch rear axle and an adjustable spring suspension seat with armrests. The top model includes a 21.5hp Kawasaki engine with 48-inch mower deck, 1-inch rear axle and an adjustable spring suspension seat with armrests.

2-2 Target Value

The target value of the T90-Series was a high-quality dealer grade lawn tractor that would be available to homeowners maintaining properties ranging from one to two acres. The warranty period was chosen to be 4 years or 300 hours, meaning the machine had to be very durable. The T90-Series was also designed to be versatile and perform many useful tasks for the operator including not only normal side discharge grass cutting but also mulching, bagging, leaf bagging, snow blowing,

snow plowing, and pulling. Because the market for the T90 is residential customers, the cut quality of the mower decks was a top priority. Many homeowners in the US market put a great amount of value on the appearance of their home's lawns and landscaping. The T90-Series was designed to have the best cut quality of any competitor machine by producing the most even cut possible, leaving no patches or streaks of uncut grass.

3. Technical Challenge to be Solved

The main technical challenges associated with the T90 project were designing new fabricated mower decks, a new steering system and improving the layout of the seat and operator controls in a way that maximized comfort. The mower decks for the T90-Series were totally redesigned to be fabricated from sheet metal and feature a new single belt pulley structure. This style of deck was completely new for the T-Series, considering the previous T80 deck was a stamped design which

had a stacked pulley belt configuration. The goal for the steering system was a best in class turning radius. Achieving this also meant the system used on the T80 needed to be totally redesigned. Another challenge was improving the operator comfort and controls layout. Because the T90 was using the same fender and bonnet design from the T80, the design team was limited with options for changing the operator platform layout.

4. Developed Technology

4-1 High Performance Single Belt Mower Decks

4.1.1 Technical Challenge

The challenge of developing mower decks for the T90-Series included not only achieving great cut quality but also figuring out a way to drive the mower decks using a single belt instead of a stacked pulley design with multiple belts. In addition, the

4.1.2 Solution of Challenge

The T90 mower decks were designed based off of the fabricated decks used on the Kommander series zero turn mowers. This decision was made mainly for the purpose of unifying the mower deck design of the turf lineup and also reducing the tooling cost of the deck to match the target EAU. Two mower deck sizes were chosen for the T90 which were a 42-inch and 48-inch cutting width. The 42-inch deck is a compact two-blade design that allows the operator to maneuver through small openings such as gates or around small garden areas. The 48-inch deck is a 3-blade design with a much wider cutting path for mowing large amounts of grass.



Fig. 3 48-inch & 42-inch Mower Decks
図3 48インチと42インチのモアデッキ

The challenge of achieving an even cut has many factors. The most important being the shape of the mower deck and internal baffles, the positioning of the blades, the speed of the blades and also the type of blades used. There are several types of defects which can be found in the cutting path of a mower deck. The most common is a rough cut or unevenness in the whole cutting path which is caused by poor lift, dull blades or a low blade tip speed. The next most common is streaking, which is identified by a thin strip of unevenly cut grass often in the center of the blade. This is often caused by poor blade position or baffle design.

new decks were required to be fabricated from sheet metal in order to increase durability, more closely resemble the appearance of the Kubota ZTR lineup and reduce the upfront tooling cost.

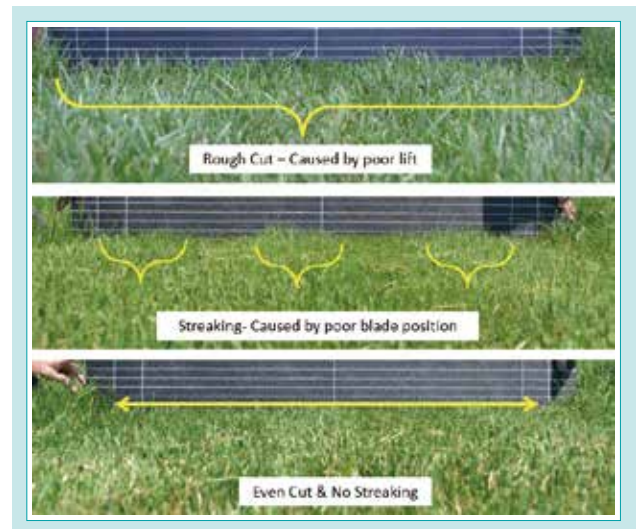


Fig. 4 Cut Quality Comparison
図4 刈り性能の比較

In order to prevent streaking in the center of the decks, the blades must be positioned in an offset and overlapping pattern. This is especially important when making tight turns where the blade overlap is reduced. However, increasing blade overlap also increases deck width, which in turn can affect turning radius and maneuverability. Through extensive testing and design consideration the T90 mower blades were positioned the optimal width which eliminates streaking in all cutting conditions while still maintaining minimum deck width.

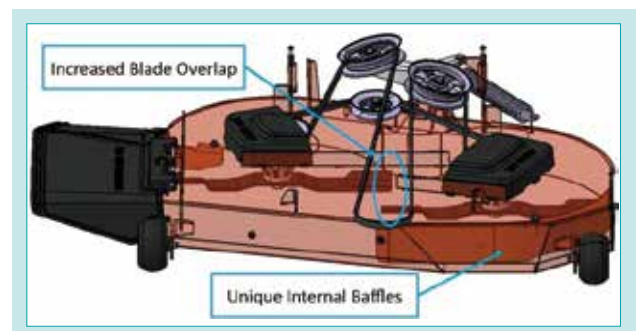


Fig. 5 Transparent View of 42-inch Mower Deck
図5 42インチモアデッキの様子

The cut quality of the mower is also greatly affected by the shape of the baffles inside the deck. The baffles are used to direct airflow inside the mower and also help the blades create lift. The back of the blades are designed with a winged shape which stands up the grass as the mower passes over and allows the blades to cut the grass evenly. One of the issues created on a lawn tractor is the position of the front tires. As the machine drives forward, the front tires will lay down the grass just before it is passed over by the mower deck. This can cause a row of unevenly cut grass to form behind the tire path. In order to address this issue on the T90, we developed a unique baffle shape which concentrates lift specifically in the path of the tire. This allows the T90 to achieve an even cut across the entire width of the cutting path.

In order to reduce complexity, cost and service time, the T90 was designed to use a single belt driven mower deck instead of a stacked pulley two belt design like previous T-Series models. The challenge facing the design team was arranging the pulleys in a way which would allow the deck to be positioned at different cutting heights (1" - 4") while being able to sustain a long belt life at the required tension and speed necessary to produce

a good cut. The solution to the problem was to use two angled pulleys at the rear of the deck which would direct the mower belt from the engine drive pulley, which is located in front of the deck, down to the blade drive pulleys. Because of the height the belt must change in order to reach each pulley, the angled pulleys needed to be positioned perfectly in order to keep the belt in the center of the pulley and prevent it from rubbing on the edge, which would reduce belt life. The pulley shape and size also play an important role in the design because of the large amount of belt angles the pulley must accommodate. Because of this, taller and deeper grooved pulleys were chosen as the angled pulleys on the rear of the deck.

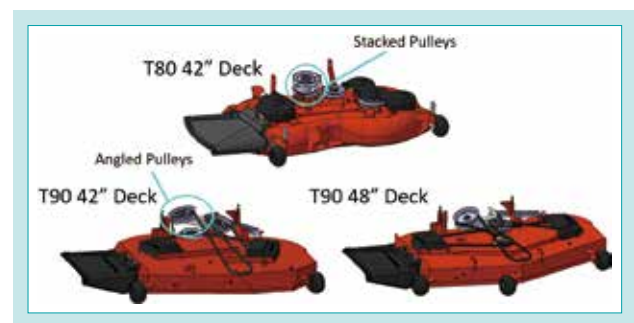


Fig. 6 T-Series Mower Deck Comparison
図6 モアデッキの新旧比較

4-2 T90 Steering System

4.2.1 Technical Challenge

One of the most important aspects of a lawn tractor is its ability to make tight turns. This is especially true now in a turf market where traditional style lawn tractors are often competing with zero-turn mowers. The majority of customers cut their grass in rows. Therefore, the ability to make a tight turn at the end of a cutting row is critical. Also, it is important for the mower to be

able to make tight turns around small obstacles such as trees or shrubs. Because of this, it was important for the T90-Series to have the best turning radius in its class. Considering the previous T80 model was already far behind current competitor machines, this was a huge challenge for the design team.

4.2.2 Solution of Challenge

In order to address the challenge of achieving a best in class turning radius, the steering system was entirely redesigned for the T90-Series. Our target was the top two competitor lawn tractor machines, which each had a turning radius of 16 inches. The T80 model was already far behind this at an 18-inch turning radius. Eventually, through extensive research and testing, we were able to realize our goal by achieving a 14-inch turning radius for the T90-Series.

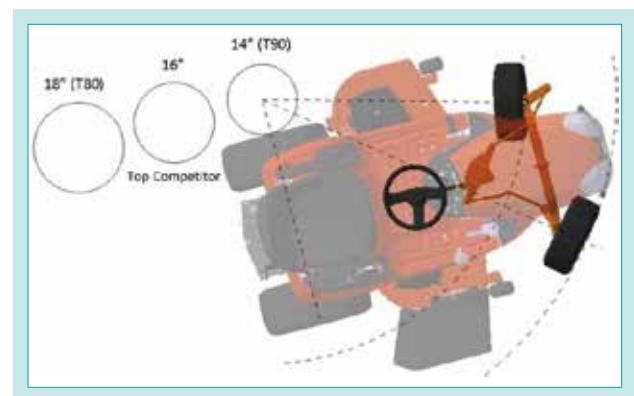


Fig. 7 Turning Radius Comparison
図7 旋回半径の比較

The T-Series steering utilizes a dual drag link system, which manipulates separate kingpins in the front axle. The front axle is a solid casting made from a high strength, ductile cast iron. The axle is fixed by a bushing in the center of frame, which allows it to pivot side to side. The kingpin flanges are located in bushings at each end of the axle. The drag links are fixed to a large sector gear, which is driven by a smaller pinion gear on the steering shaft.

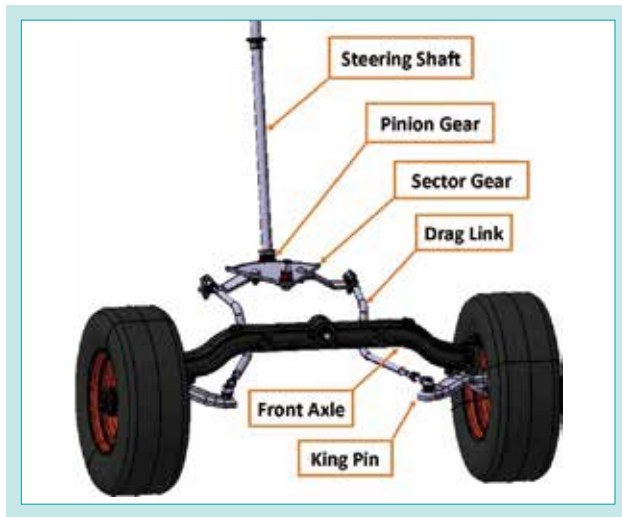


Fig. 8 T90-Series Steering System
図8 T90のステアリングシステム

To achieve the 14" turning radius, the design team utilized principles of Ackermann geometry steering. The Ackermann geometry involves each tire being positioned at a different angle while turning where the center point of the rear axle and each front tire meets in a common location. In addition, caster and king pin inclination angles were incorporated into the front axle design. The caster and KPI alter

the camber gain of each tire in the turn. Multiple iterations of these angles were tested and fine-tuned in real turf conditions in order to maximize traction, improve handling and allow the T90 to achieve the smallest turning radius possible.

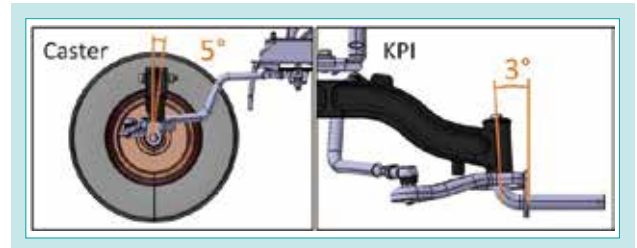


Fig. 9 T90-Series Caster and Kingpin Inclination
図9 T90のキャストとキングピンの傾斜角

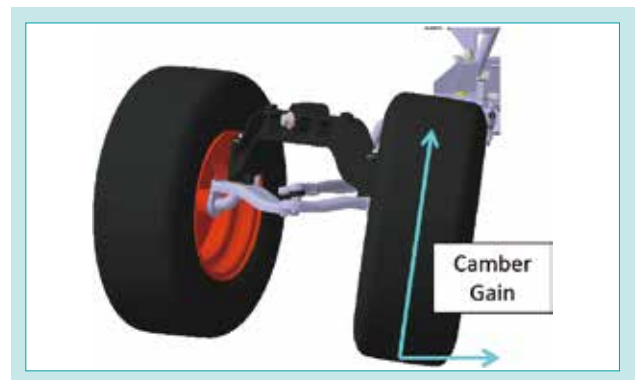


Fig. 10 T90 Camber Gain in a Turn
図10 T90の旋回時のキャンバゲイン

A major benefit of this steering geometry is the reduced tire slide while turning. Tire slide is the condition where the front tire is pushed forward during a turn. This causes the sidewall of the tire to dig into and damage the turf. With the T90-Series, the operator can make tight turns without fear of tire slide destroying the lawn.

4-3 T90 Comfort and Ergonomics

4.3.1 Technical Challenge

Because the T90-Series is mostly targeted towards customers who are not comfortable operating a zero-turn mower, the comfort, ergonomics and operation forces of the machine were extremely important factors in the new design. This was a challenge to the design team because the fender, bonnet and

panel from the previous T-Series were to be used to reduce cost. This limited the design team's ability to easily move the seat, steering wheel and controls of the machine into positions that were more ergonomic and comfortable.

4.3.2 Solution of Challenge

It was determined through dealer and customer feedback that the T80 seat base and steering wheel position needed change to improve rider comfort. The steering wheel was too close to the operator's legs and would often cause interference while turning with the steering wheel. In addition, due to the shape of the fender, the seat was angled

downward, which would cause the operator to feel like they were sliding out of the seat. For the T90, the steering wheel has been raised up 100mm from its original position closer to the operator to add clearance. Not only does this create more legroom for the operator but it also reduces the distance the operator must extend their arms to reach the wheel.

In addition, the T90 seat base was designed to be lifted up at the front of the seat so that the seat sits level with the floor pan. This eliminates the feeling of sliding out of the seat and gives the operator an overall more comfortable seating position.



Fig. 11 T80 vs T90 Operator Comfort
図 11 居住性の比較

The T90 has also been fitted with a new high back seat with optional armrests, which provide more support to the operator than the previous low back seat. The design team also designed a new adjustable 4-link spring seat suspension specifically to fit the T-Series fender and seat. The seat suspension is fully adjustable to accommodate operators up to 300lbs. In addition, a premium steering wheel reduces vibration felt by the operator and improves grip while steering.

The entire mower linkage system of the T80 has been redesigned for the T90 to feature a fender mounted dial cam. The reason for this change is to make the dial-cam within reach of the operator without having to bend down. Using the new

system, the operator can easily adjust the cutting height while comfortably sitting upright in the seat.



Fig. 12 T80 vs T90 Mower Lift Operation
図 12 モア昇降操作の比較

In order to lower the steering force to a level acceptable to a wide range of customers, the T90 steering system utilizes a lower gear ratio in the sector and pinion gears that reduces the overall steering force by an average of 10% compared to the T80.

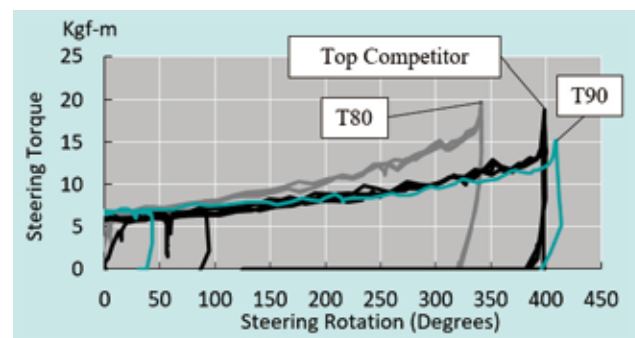


Fig. 13 T90 Steering Force Comparison
図 13 ステアリング操舵力の比較

5. Conclusion

The T90-Series has achieved the goal of a modern high-quality lawn tractor by offering the customer the best in cut quality, handling and comfort. Exceptional cut quality is achieved with new fabricated mower decks, while the new steering system offers the market's best in handling. New seat and controls layout greatly improve

rider comfort and ease of operation compared to the T80-Series. Since the new T90-Series was introduced into the market in March of 2018 sales of the T-Series have more than doubled compared to that of 2017 total sales. Similar numbers are projected for 2019 sales which show a strong positive reception of the T90-Series.

Contribution to SDG Targets

8.2 Improvement in productivity through innovation

Contribution to the increase in efficiency and quality of homeowners and landscaping maintenance personnel in the care of their properties.

11.7 Access to sustainable green and public spaces

Contribution to the sustainability of green spaces and gardens.

歩行型ロータリ除雪機SLA-1070STの開発

Development of Two-stage Snow Blower SLA-1070ST

農業ソリューション技術部／機械研究第二部

国内の積雪寒冷地帯では、冬期間の除雪作業が非常に重労働である。スコップなどで除雪作業を行っていた一般家庭にも除雪作業の機械化にとまない、歩行型ロータリ除雪機が普及している。クボタでも2016年に歩行型ロータリ除雪機スノースラロームシリーズを開発し、順調に販売台数を伸ばしている。しかしながら、除雪作業は出勤前の早朝に作業することが多く近隣住民に対する騒音の配慮が必要になる。また、機械操作に不慣れなユーザが除雪中に縁石などに除雪機をぶつけ、除雪部のシャーボルト(除雪部動力伝達系統の保護ボルト)を折損し、寒い中シャーボルト交換作業をしなければならない。クボタは、このような問題を解決するため、騒音の低減と、除雪部にはぶつけても衝撃を逃がす機構を搭載したスノースラロームSLA-1070STを開発した。

【キーワード】

除雪機、スノースラローム、エンジンカバー、ブロウ音低減、トルクリミッタ

In cold regions of Japan with heavy snowfall, snow removal work during the winter months is extremely hard work. With the mechanization of snow removal work, the use of Two-stage snow blower has become common in ordinary households that used to remove snow with shovels.

Kubota also developed the Snow Slalom Series of Two-stage snow blower in 2016, and sales have been increasing steadily. However, snow removal work is often done early in the morning before going to work, and it is necessary to consider the effect of noise on neighboring residents. In addition, a user who is unfamiliar with machine operation is prone to hitting the snow blower against the curb during snow removal, and breaking the shear bolt of the snow removal section (bolt that protects the power transmission system of the snow removal section), and therefore having to replace the shear bolt in cold weather. To solve these problems, Kubota has developed the Snow Slalom SLA-1070ST, which is equipped with a mechanism to reduce noise and mitigate the impact even if it hits the snow removal section.

【Key Word】

Two-stage Snow Blower, Snow Slalom, Engine Cover, Blower Noise Reduction, Torque Limiter

関連する SDGs



1. はじめに

歩行型ロータリ除雪機スノースラロームシリーズは機械操作に不慣れなユーザも使用するため、簡単に操作できる操作性と楽に作業できる作業性をコンセプトとし、2016年に開発した。

しかしながら、街中では早朝に除雪作業を行なうことが多く、近隣への配慮から、騒音の低減が求められている。また、機械操作に不慣れなユーザが使用するため、シャーボルトを

折損し、除雪作業の中断と寒い中での交換作業を行なうケースが発生している。

こうした課題を解決するため、騒音を低減させるとともに、シャーボルトの折損頻度を低減させた歩行型ロータリ除雪機SLA-1070STの開発に取り組んだ。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

歩行型ロータリ除雪機スノースラロームシリーズは機械を使い慣れていない都市部のユーザにも使用してもらえる機械として開発を行なっている。

電動サイドクラッチ、電動オーガリフト、ハンドル高さ一定機構などの操作性や作業性と価格においては満足していた。

そこで本開発ではシリーズ機として残された課題である、

- (1)エンジン音、ブロウ音の低騒音化
 - (2)除雪部にトルクリミッタ構造を取り入れ衝撃を軽減させることによる、シャーボルト折損頻度の低減
- というコンセプトで開発を行なった。

2-2 目標値

エンジン音、ブロウ音の低騒音化については開発目標値を以下のとおりとした。騒音低減の対応はエンジン音、ブロウ音それぞれ各部ごとに行なったが、評価はエンジンをかけ、ブロウを回転させた状態で評価する。

- ・オーガ回転時の騒音値 : 従来機から - 3 dB(A)

メンテナンス性、作業性向上のために、シャーボルト折損頻度低減の開発目標値を以下のとおりとした。シャーボルト折損頻度は疑似的に模した縁石にオーガを意図的にぶつけ、シャーボルトが折損するまでの時間で評価する。

- ・縁石衝突時のシャーボルト折損迄の時間 : 30秒以上

3. 解決すべき技術課題

3-1 騒音の低減

街中における早朝での除雪作業は機械のエンジン音やブロウ音に対して近隣への配慮が必要である(図1)。

エンジン音、ブロウ音それぞれの課題に対して取り組み、評価はエンジンをかけた状態で、ブロウを回転させ評価する。

3.1.1 エンジン音の低減

エンジン音の低減対策としては、単純にエンジンに対してカバーリングするだけでは目標が達成できない。エンジンから発生する騒音源に対して、効果的にカバーリングする必要がある。そのために、エンジン騒音の音源探査を実施した。また、エンジンをカバーリングすることで、エンジンから発生する熱がカバー内に滞留し、カバー内部の温度が上昇してしまう。カバー内部の温度がある一定以上に上昇すると、エンジンがオーバーヒートし、エンジン停止となり、作業ができなくなるため、カバー内部の温度が上昇しないように、熱対策を行なう必要があった。

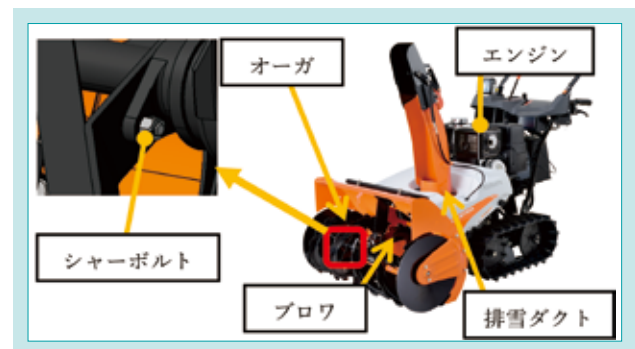


図1 歩行型ロータリ除雪機 SLA-1070A
Fig. 1 Two-stage Snow Blower SLA-1070A

3.1.2 ブロウ音の低減

従来機はブロウ回転時の風切り音が大きかった。この発生原因を特定するために流体解析を使用した。騒音が大きい場所は圧力変動が大きい場所である。圧力変動が大きい部分を特定しその部分の圧力変動が均一になるような形状

にする必要があった。一方、従来機はブロウから排雪ダクトにかけて金型による成型後、溶接しているため、金型を流用しつつブロウ部周辺の構造を見直すことで、騒音を低減させる必要がある。

3-2 シャーボルト折損頻度の低減

機械操作に不慣れなユーザが除雪作業中にオーガに衝撃荷を受けて、シャーボルトを折損する頻度が高い。シャーボルトは除雪部が衝撃を受けたときに折損することで衝撃がオーガギヤケース内の動力伝達系にかかる負荷を

減らす役割がある。

しかし、一度シャーボルトが折れてしまうと除雪作業ができず、寒い中での交換作業をする必要がある。

そのため、除雪部のオーガに一定以上の衝撃負荷がかかると逃がすトルクリミッタ構造を追加することで、シャーボルトの折損頻度を低減させることを目標とするが、トルクリミッタの作動トルク範囲が低い場合、除雪中に作動し、高い場合、トルクリミッタが作動せずに、シャーボルトが折損する

ため、適正な作動トルク範囲を設定する必要がある。

一方、除雪部に取付ける部品が多くなると、除雪作業中にその箇所に雪が付着し、作業中に雪を取り除かなければ作業ができなくなるという問題もある。そのため、トルクリミッタの小型化にも取り組む必要がある。

4. 開発技術

4-1 騒音の低減効果

4.1.1 エンジン音の低減

エンジンのカバーリング構造を検討するため、エンジン騒音の音源探査を実施した。音源探査は半無響音室にて、エンジン音を4方向からマイク測定している。音圧をコンタ表示することで、音圧分布を可視化している(図2)。コンタ表示は音圧の大きい箇所を赤で示し、音圧の小さい箇所を青で示している。音源の音圧分布よりマフラ部周辺とエンジン下部周辺に大きな騒音が発生していた。

そこでエンジン周辺部に上部カバーと下部カバーを装着することでエンジン騒音を低減させることとした(図3)。

エンジンは汎用品であるためにエンジン本体へのカバー取付けができない。そのため、カバーを上部、下部に分割し、下部カバーをエンジンマウント部の板金部品に取付け、上部カバーの取付け部品を兼ねる構造とした。上部カバーは樹

脂で構成し、軽量化とデザイン性の向上を行なった。また、下部カバーを固定、上部カバーを脱着可能にすることで、メンテナンス性にも配慮したカバー構造とした。

上部カバーの構造は熱対策も行なっている。マフラ部分は上部カバー内に固定した板金部品で覆い、内部に断熱材を使用することでエンジンの温度上昇を防いでいる。また、排気口を大きくすることで、生じた熱を逃がす構造とし、エンジンの熱対策とした(図4)。

また、上部カバーの内側には吸音材を使用した。

エンジンカバー上部、下部を装着した状態での騒音低減効果を表1に示す。測定時にはエンジンをかけているが、プロフは回転していない。従来機と比較し、エンジンカバーを装着することで-4 dB(A)の低減効果が得られた。

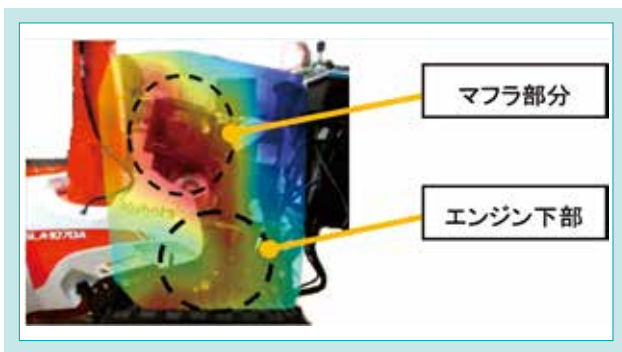


図2 音圧分布
Fig. 2 Sound Pressure Distribution



図3 エンジンカバー構造
Fig. 3 Engine Cover Structure

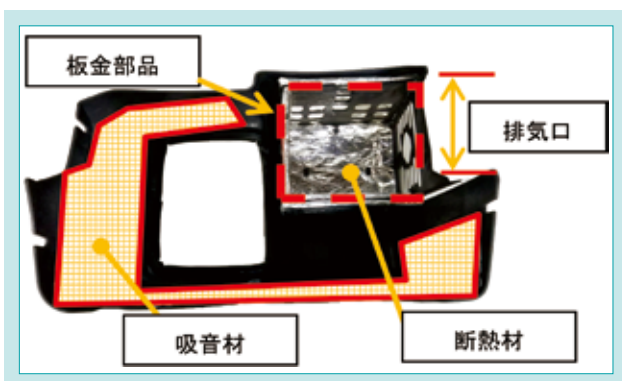


図4 エンジンの上部カバー内部構造
Fig. 4 Engine Top Cover Internal Structure

表1 エンジンカバー装着時の騒音結果

Table 1 Noise Results when the Engine Cover is Attached

| | 従来機 | 開発機 | 騒音低減値 |
|------------------|-----|-----|-------|
| 耳元左右平均騒音 [dB(A)] | 85 | 81 | -4 |

4.1.2 ブロウ音の低減

ブロウ音の低減には流体解析を用いることで騒音源を特定した。騒音は圧力変動が大きい場所で発生する。そこで実機と同様に除雪部のブロウを回転させる解析を行ない、圧力変動を評価した(図5)。解析結果からブロウケースの舌部が最も圧力変動が高く、騒音源であることが確認できた(図6)。

これによりブロウケース舌部形状を複数パターン作成し、解析を行なった結果、舌部形状をR形状にし、ブロウケースと排雪ダクトを滑らかに接続することで、圧力変動が約900 MPaから約500 MPaになり55% 低減することが分かった。また、ブロウは投雪をになう部分であるため、ブロウケースの舌部形状の変更により、投雪能力が低下する可能性がある。投雪能力の確認は風速分布を流体解析し、変更前後でブロウケース吐出部の風速が減少していないことを確認した。

以上の結果から騒音を低減し、投雪性能にも影響しないブロウ形状を確立した。

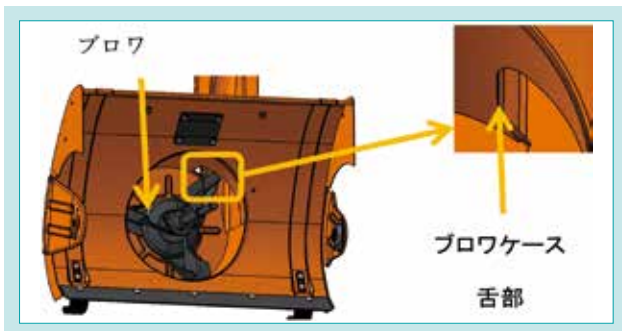


図5 除雪部解析モデル

Fig. 5 Snow Removal Part Analysis Model

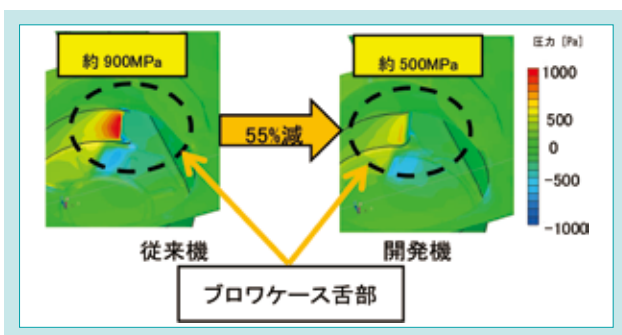


図6 ブロウケースの解析結果

Fig. 6 Blower Case Analysis Result

4.1.3 音質の改善

市場調査により除雪機の甲高い音が不快であるとの意見が多かった。これに対し、エンジンカバー内の吸音材追加によりエンジン音の高音域をカットし、またブロウケース舌部の形状変更により風切音がなくなること高音域が低減された。騒音の周波数測定を行ない、従来機と開発機を比較した結果を図8に示す。高音域では開発機の方が騒音値は低くなっており、官能評価においても耳障りな高音が従来機と比較して明らかに低くなっていた。

次にブロウケースの製作方法について検討を行なった。従来機では金型での一体成型を行っていたが、本開発機ではブロウ上部と排雪ダクトに切り欠きを追加し、解析から得られたR形状の部材を排雪ダクトに溶接する構造とすることで従来機から使用されていた金型を流用可能とした(図7)。

ブロウ部の騒音低減効果を表2に示す。測定条件は、エンジンの上部及び下部カバーを装着していない状態でエンジンをかけ、ブロウを回転させたときの耳元騒音を測定した結果、耳元騒音値は従来機と比較し-4 dB(A)を達成した。

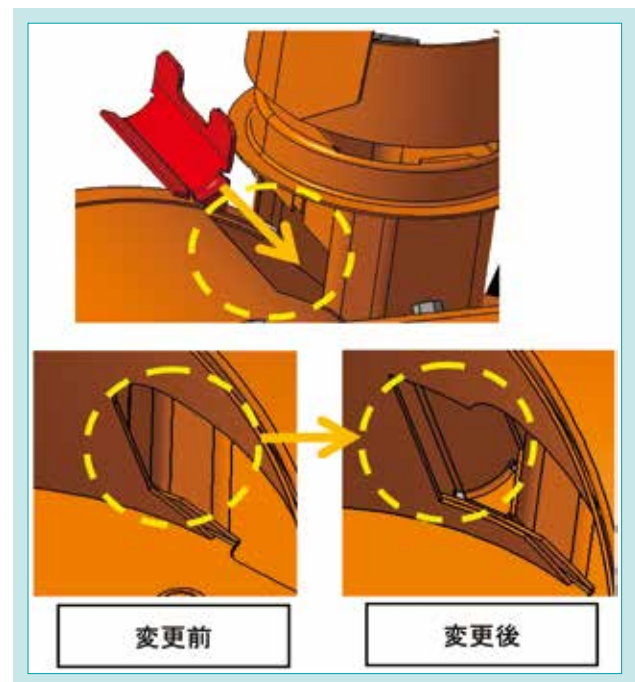


図7 ブロウケースの形状変更

Fig. 7 Blower Case Shape Change

表2 ブロウケース形状変更後の騒音結果

Table 2 Noise Results after Changing the Shape of the Blower Case

| | 従来機 | 開発機 | 騒音低減値 |
|-----------------|-----|-----|-------|
| 耳元左右平均騒音[dB(A)] | 88 | 84 | -4 |



図8 騒音周波数比較

Fig. 8 Noise Frequency Comparison

4.1.4 機械トータルの騒音低減の成果

機械トータルの騒音の低減効果を確認するため、騒音測定を行なった。結果を表3に示す。測定はエンジンの上部及び下部カバーを装着した状態でエンジンをかけ、ブロワを回転させた。オペレータの耳元位置で騒音測定した結果、開発機が83 dB(A) となり、従来機より -6 dB(A) であった。

低騒音化に向けて、エンジン上部及び、下部へのカバーリングとブロワケースの形状を変更することにより、目標を達成し低騒音化を実現した。

表 3 騒音低減効果
Table 3 Noise Reduction Effect

| | 従来機 | 開発機 | 騒音低減値 |
|------------------|-----|-----|-------|
| 耳元左右平均騒音 [dB(A)] | 89 | 83 | -6 |

4 - 2 シャーボルトの折損低減

除雪機の作業部には過負荷時に動力伝達部分を保護するためにギヤケースとオーガの間にシャーボルトが使用されている。除雪作業中にシャーボルトが折損すると、動力が伝わらないため除雪作業を中断せざるをえない。シャーボルト交換作業は低温環境での作業のため過酷である。また、クボタで開発したスラロームシリーズは一般ユーザ向けに開発しており、機械に不慣れなユーザが多いため、交換を自身でできず、サービスコールが必要になるケースも多く、市場

から対策を要望されていた。

シャーボルトが折損する場面は除雪作業中に家の縁石にぶつけることや、オーガに石がかみこんだ場合、除雪部を下げすぎて、オーガが地面に接触した場合が考えられる。いずれの場合でも衝撃負荷がかかり、シャーボルトが折損することから、シャーボルトの折損頻度を低減させるために、衝撃を逃がすトルクリミッタ機構の搭載を目指した(図9)。

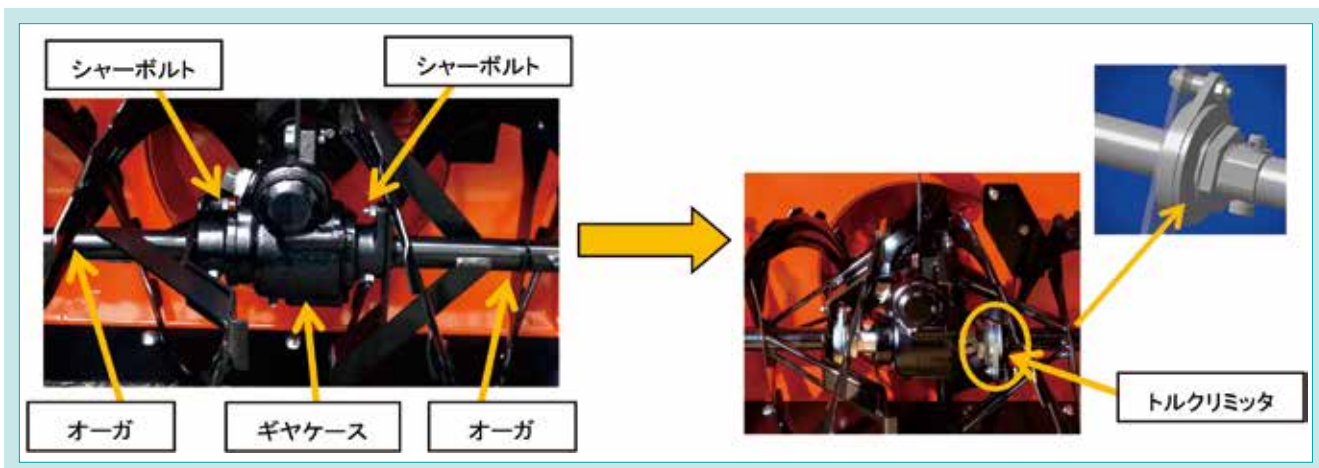


図 9 除雪部の構造

Fig. 9 Structure of Snow Removal Part

4.2.1 トルクリミッタの構造

本開発ではギヤケースを従来機と共通にするため、トルクリミッタをギヤケース内に内蔵せず、ギヤケース外に搭載する構造を考案した。一般的なトルクリミッタではギヤケース内に内蔵されていることが多く、ギヤを皿バネで挟み込み、過大トルク時にギヤが滑りトルクを逃がす構造であるのに対し、本開発ではギヤ部品の代わりにシャーボルトを取付けるフランジを皿バネで挟み込み、過大トルク時にフランジを挟み込んでいる部分が滑る構造を考案した。今回の構造ではトルクリミッタが左側のオーガ部分、右側のオーガ部分に取付けるため2個必要である。そのため、コストの増大が懸念される。そこで本開発では一般的なトルクリミッタに使用されている摩擦板を廃止した。除雪機では常にトルクリミッタが作

動する状況にはないため、摩擦熱によるトルクリミッタの焼き付きが通常使用されているトルクリミッタよりも少ない。

そのため、摩擦板の代わりに焼き付き防止策として空滑りするフランジにグリス穴を設けグリスを封入する構造とすることで、コストが低減できるシンプルな構造とした。

次にトルクリミッタの小型化に取り組んだ。従来機での駆動軸に、トルクリミッタをキーとイモネジで固定する構造ではトルクリミッタが大型化してしまい、除雪作業時に雪が付着しやすい構造となってしまう。そこで、駆動軸とトルクリミッタにピンを通して固定する構造に変更した。キーを廃止することにより、トルクリミッタの径を縮小し、かつ皿バネも小さいものに変更でき、トルクリミッタの外径を小型化した(図10)。

4.2.2 作動トルクの設定

トルクリミッタの作動トルク設定値を決定する。そのため、各地区において除雪作業を行ない、除雪作業時と、シャーボルト折損時のトルクをそれぞれ測定した。

除雪作業中でのシャーボルト折損トルクは 320 N・m であった。そのため、上限値を300 N・mと決定した。

下限値の決め方は、通常の除雪作業時にトルクリミッタが作動してしまうと作業性を損なうこととなるため、除雪作業中の最大トルク110 N・mを下限値と決定し、トルクリミッタの作動範囲は110 N・m～300 N・mとした。

4.2.3 性能確認結果

トルクリミッタの作動確認として、シャーボルトの折損はオーガに衝撃負荷が加わり発生するケースが多いため、縁石を模した治具に作業部を連続接触させることでシャーボルト折損までの時間を確認した(図11)。



図 11 トルクリミッタの作動試験
Fig. 11 Torque Limiter Operation Test

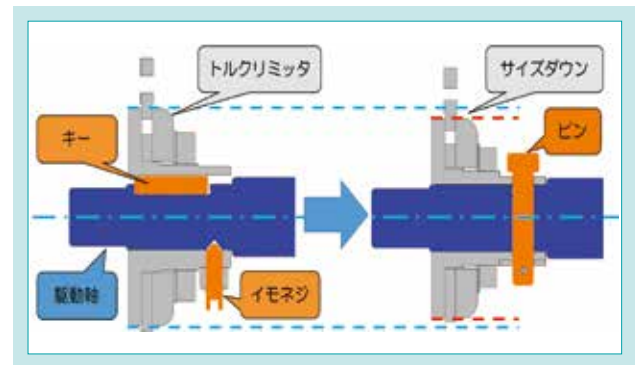


図 10 トルクリミッタの小型化検討
Fig. 10 Considering Miniaturization of Torque Limiter

結果を表4に示す。3回作動確認を行なったが、従来機は1～2秒程度でシャーボルトが折損したが、トルクリミッタを搭載した開発機は3回とも1分以上折損無しという結果となり、目標を達成できた。

また、トルクリミッタの作動については、作業部ロック時のみ作動し、過負荷状態ではない場合は作動しなかったことから、通常の除雪作業への影響がないことが確認できた。

表 4 シャーボルトの折損時間の結果
Table 4 Results of Shear Bolt Breakage Time

| | シャーボルト折損の有無 | シャーボルト折損秒数 |
|-------------------|-------------|----------------|
| 開発機 SLA-1070ST | 無 | 1セット目: 1分間折損無し |
| | | 2セット目: 1分間折損無し |
| | | 3セット目: 1分間折損無し |
| 従来機 SLA-1070A | 有 | 1セット目: 1秒 |
| | | 2セット目: 1秒 |
| | | 3セット目: 2秒 |

5. おわりに

本開発機は住宅街での使用も考慮し、エンジンのカバーリングとブロワケース形状の追及により、低騒音化を実現した。また、独自のトルクリミッタを開発したことにより、従来機に比べて大幅にシャーボルトの折損頻度を低減でき、作業性とメンテナンス性の向上に貢献した。

毎冬ごとの除雪作業で苦勞しているユーザに対し、本開発機により軽労化に貢献できた。

今後は、異常気象の中、大雪で困っているユーザに貢献できるように、本開発での技術を生かし、さらなるスラロームシリーズのラインナップ充実を目指し、除雪作業の軽労化に取り組んでいく。

SDGs のターゲットへの貢献

9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 除雪作業の低騒音化、軽労化により貢献

11.a 都市と農村部のつながりの支援 除雪作業の作業性向上により貢献

軟弱野菜調製機NC301の開発

Development of Spinach Conditioner NC301

ポストハーベスト技術部

ホウレンソウ等の軟弱野菜の調製作業(不要な根や子葉、下葉を除去する作業)は、全工程所要労働時間(播種～出荷)の44%¹⁾を占め、その作業を雇用労働者による手作業に頼っているが、近年、雇用の確保が困難になりつつある。一方で、軟弱野菜の調製作業は繊細さを必要とするため、従来機は存在するものの、機械化による省人化は困難であった。そこでクボタは、開発機において根の切断精度と子葉・下葉の除去精度を最大限向上させることで、手作業による調製作業の手間を削減し、作業効率の向上につなげることを目標とし、開発に取り組んだ。本稿では、軟弱野菜調製機の特徴や調製作業について説明するとともに、開発技術について紹介する。

【キーワード】

ホウレンソウ、軟弱野菜、調製、下葉除去、子葉除去、高能率化

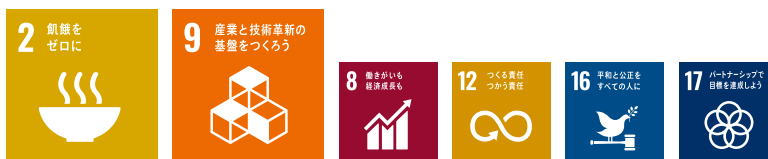
Processing of soft leafy vegetables such as spinach (removal of unnecessary roots, cotyledons, and lower leaves) accounts for 44% of the total working hours (from seeding to shipping), and the work is carried out by employed workers. On the other hand, since the processing of soft leafy vegetables requires delicate handling, there is a conventional machine for this purpose, but it has been difficult to save labor by mechanization.

Therefore, we aimed to reduce the labor component of manual processing and improve work efficiency by maximizing the root cutting accuracy and the cotyledon and lower leaf removal rate by developing a machine for this task. This paper describes the features and processing work performed by the spinach conditioner. At the same time, we will introduce the development technology.

【Key Word】

Spinach, Soft Leafy Vegetables, Processing, Removal of Lower Leaves, Removal of Cotyledons, High Efficiency

関連する SDGs



1. はじめに

1-1 開発の背景

軟弱野菜とは収穫直後から急速にいたみ始める野菜のことを指し、その代表例として、ホウレンソウがあげられる。非常にいたみやすいため、ホウレンソウにおいては、播種～収穫工程及び、包装工程は機械化が完了しているが、調製工程は未だ慣行手作業が主流である。その労働時間は、全工程所要労働時間の44%を占め、大産地ではその作業をパート従業員に頼っているが、近年では、雇用の確保が困

難になってきている。そこでクボタは、軟弱野菜の調製作業を省人化する目的で、軟弱野菜調製機NC300を、「農業機械等緊急開発事業」(以下「緊プロ事業」という。))により、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構(以下「農研機構」という。))と共同開発し、2000年に実用化を完了した。しかし、ホウレンソウの調製作業は、繊細さを必要とすることから、能力的に市場要望を満たせていないといった課題が

あった。また、近年の日本農業を取り巻く環境は、就農者の高齢化による離農や委託の増加に伴い、農地面積10 ha以上の担い手農家に集約されつつあり、ハウレンソウ農家においても、農家毎の作付面積が拡大傾向にあることから、より高能率な調製機の開発を要望されていた。

このような背景から、クボタは、再び緊プロ事業として農研機構と共同研究を実施し²⁾、その成果を用いて新型機「NC301」を開発した(図1)。



図1 軟弱野菜調製機 NC301
Fig. 1 Spinach Conditioner "NC301"

1-2 ホウレンソウの調製方法

ホウレンソウの調製方法は、不要な根を5~10 mm残して切り落とした後、子葉(1~2枚/株)と、下葉(2~4枚/株)は、変色やとろけの原因となるため除去する(図2)。軟弱野菜調製機ではこれらの工程を自動化することを目的としている。

なお、本稿で用いる「根の切断長」とは、「切断後に株側に残った根の長さ」を指している。

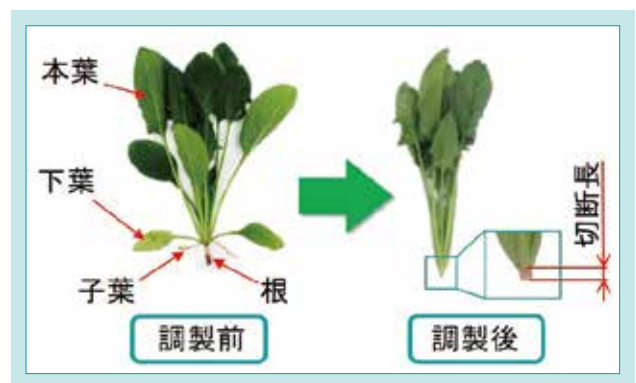


図2 ホウレンソウの調製方法
Fig. 2 Processing of Spinach

1-3 調製機の構成と作業の流れ

この軟弱野菜調製機は、供給部、調製部、排出部によって構成されている(図3)。

ここでは開発機の写真を用いて、作業の流れを以下に示す。

- (1) 供給者が、作物を一株ずつ供給コンベアに静置する。その際、作物の株元を株元ガイドに沿わせて置く。
- (2) 作物は供給コンベア上を搬送され、調製部に供給される。
- (3) 調製部では、株押えコンベアと供給コンベアによって、除

去しない本葉を挟持しながら搬送し、根の切断と、挟持していない子葉・下葉の除去を自動的に行う(図4)。

- (4) 調製部から排出された作物は、排出部の排出コンベアに受け渡され、搬送される。
- (5) 排出部では、仕上げ者が虫食いや変色した本葉を除去する。その際、機械で除去できなかった根や下葉も除去する。

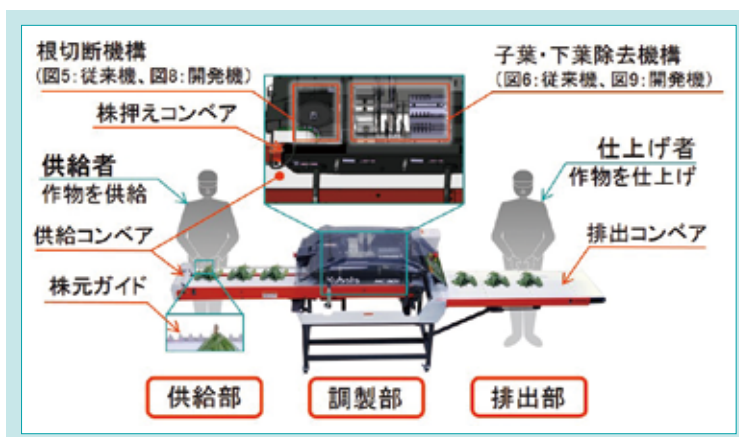


図3 調製機の構成
Fig. 3 Constitution of Conditioner

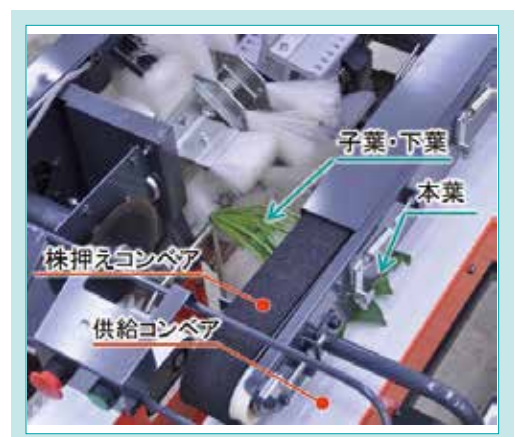


図4 調製部の作物流れ
Fig. 4 Crop Flow Inside the Conditioner

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

調製工程を効率化するためには、機械で切断できなかった根や、除去できなかった下葉を仕上げ者が再調製する手間を削減しなければならない。軟弱野菜は、品種や栽培時期によっても形状や条件が異なるため、調製精度100%を達成することは容易ではないが、根の切断精度と子葉・下葉の除去精度を最大限向上させることで、再調製の手間

を削減し、作業効率の向上につなげることを目標とした。

また最近では、熟練作業者の確保が困難になりつつある。慣行手作業には熟練の技術が必要であり、経験の浅い作業では調製後の仕上がりにバラツキが生じてしまう。そこで軟弱野菜調製機は、誰でも簡単に使用でき、安定した仕上がりになることを目指した。

2-2 目標値

コンセプト実現のため、以下を開発目標とした。

調製にかかわる作業時間 従来機比30%削減

この開発目標の実現にあたり、再調製の手間削減が必須であるため、調製精度についての達成すべき数値目標として以下を設定した。

(1) 根の切断精度

- ①平均切断長 5~10 mm
- ②標準偏差 2.0 mm以内

(2) 子葉・下葉除去精度

- ①子葉・下葉除去率 90%以上
- ②本葉ロス(誤除去)率 5%以下

3. 解決すべき技術課題

3-1 根の切断精度向上への課題

生食用として出荷されるホウレンソウは、調製後の見栄えも非常に重要視される。そこでホウレンソウの根は、前述の切断精度を満たしていることに加え、斜めに切断してはいけない。それに対して従来機の切断機構は、切断時に切断刃によって作物が下向きに押されて垂れ下がることにより、切断長にバラツキが生じることや、斜めに切断してしまうという課題があった(図5)。その場合は、手作業で再調製しなければならず、手間が生じてしまう。

本開発では、根の再調製を不要にするべく、作物が供給コンベアで搬送されてから切断に至るまでの構造を見直すことで、この課題の解決に取り組んだ。

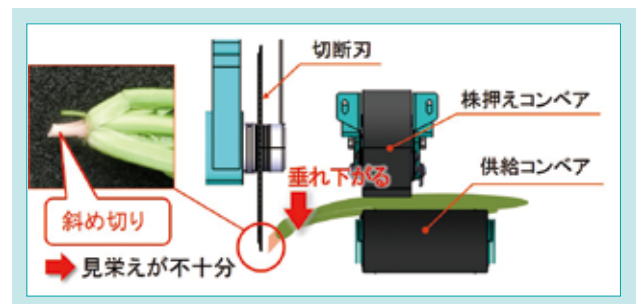


図5 従来機の根切断機構

Fig. 5 Mechanism of “NC300” for Cutting Roots

3-2 子葉・下葉除去精度向上への課題

従来機の子葉・下葉除去機構は、下葉取りブラシと下葉取りロールを交互に配置した構造となっている(図6)。この機構では、下葉取りブラシで子葉・下葉を根方向に掻き出した後、低速回転するスポンジ製の下葉取りロールで子葉・下葉を挟み込み、引きちぎることで除去する。その際、葉柄(ようへい: 下葉と株元をつなぐ、茎のような部分)が除去できず、株元に残ってしまうことで、再調製しなければならないことが課題であった。

本開発では、この課題を改善するために、下葉を株元から確実に除去できる新たな機構の開発に挑戦した。

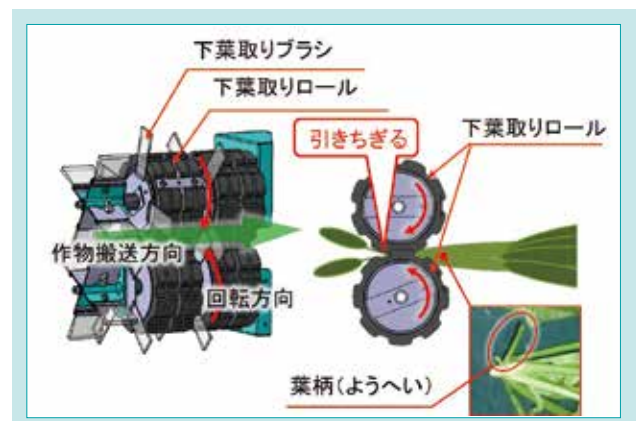


図6 従来機の子葉・下葉除去機構

Fig. 6 Mechanism of “NC300” for Removing Cotyledons and Lower Leaves

4. 開発技術

4-1 根の切断精度の改善

4.1.1 供給部における作物供給の安定化

根の切断精度の向上を検討するにあたり、作物の株元の位置合わせを担う供給部と、調製部における根切断機構を見直すことで改善に取り組んだ。

まず供給部では、前述のとおり、供給者が作物を一株ずつ供給コンベアに静置するが、その際、作物の株元を株元ガイドに沿わせて置かなければならない。そのため、供給者の技量によっては、作物の株元が株元ガイドから僅かに遠ざかった位置に供給してしまい、根の切断長がその分だけ長くなってしまふことがある。

そこで開発機では、供給コンベアに対し株元ガイドを1°傾けて配置した(図7)。そうすることで、作物が供給コンベア上を搬送されるにつれ、株元ガイドが作物の株元に近接していくため、作物の供給位置を最大10 mm程度補正することができる。この構造により供給位置のバラツキを機械側

で吸収することで、根の切断精度を向上することが可能となる。加えて、供給者が従来機ほど作物の供給位置に注意を払う必要がなくなり、供給速度が向上することから、作業効率の改善にもつながる。



図7 開発機における供給部のコンベア配置
Fig. 7 Conveyor Arrangement of the Feeding Unit of "NC301"

4.1.2 調製部における根切断機構の改良

開発機では、株元ガイドに近接したギヤロータで、切断時に作物の根を下から保持する構造とした(図8)。株元ガイドに沿って搬送されてきた作物の株元は、ギヤロータに密着し保持される。この構造により、切断長の均一化を図ることができる。そして、切断時の作物の垂れ下がり防止し、根を垂直に切断することができるため、仕上がりの見えが良好であることから、手作業による再調製をほとんど要しない根の切断精度を実現した。

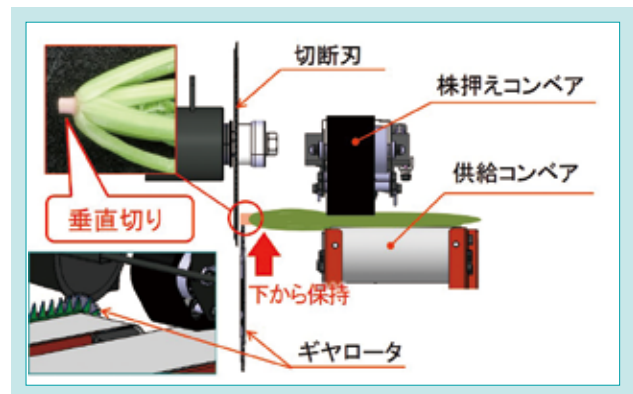


図8 開発機における根切断機構
Fig. 8 Mechanism of "NC301" for Cutting Roots

4.1.3 成果

表1は、複数品種における根の切断精度を開発機と従来機で比較したものである。それぞれの機体での平均切断長及び標準偏差の平均値を見ると、従来機での平均切断長9.7 mm、標準偏差3.0 mmに対し、開発機では平均切断長6.5 mm、標準偏差1.2 mmであったことから、開発機

は従来機よりもより短く、バラツキが少ない切断を実現できているといえる。また、全ての品種で目標値である平均切断長5~10 mm、標準偏差2.0 mm以内を達成していることから、ハウレンソウの品種を問わず安定した仕上がりを実現できたことがわかる。

表1 根の切断精度に関わる評価結果

Table 1 Evaluation Results Related to Root Cutting Accuracy

| ハウレンソウ 品 種 | 地区 | 平均切断長 (mm) | | 標準偏差 (mm) | |
|---------------|----|------------|------|-----------|-----|
| | | 開発機 | 従来機 | 開発機 | 従来機 |
| 目 標 値 | | 5~10 | — | 2.0 以内 | — |
| サンホープセブン | 岐阜 | 5.7 | 10.1 | 1.0 | 3.0 |
| スーパースター | 岩手 | 6.6 | 9.1 | 1.0 | 2.1 |
| サンホープセブン | 岐阜 | 5.1 | 9.1 | 1.1 | 3.4 |
| スクープ | 群馬 | 8.6 | 9.9 | 1.4 | 2.9 |
| ジャスティス | 群馬 | 6.5 | 10.1 | 1.4 | 3.4 |
| 平均 値 | | 6.5 | 9.7 | 1.2 | 3.0 |

4-2 子葉・下葉除去精度の改善

4.2.1 子葉・下葉除去機構の開発

開発機の子葉・下葉除去機構は、下葉取りブラシと下葉取りブレードで構成されている(図9)。下葉取りブラシは従来機同等品ではあるものの、上下各2枚ずつを隣接して配置し、連続的に作用させることで、子葉・下葉を根方向に確実に掻き出すことを狙っている。

そして、開発機で新たに採用した下葉取りブレードは、EPDM系スポンジゴムを材料としており、回転軸に4枚/組が風車上に取付けられた構成となっている。上下に1組ずつ配置し、最大900rpmの高速回転で、子葉・下葉を除去する。ブレード先端が株元の形状に沿って変形しながら、

下葉の付け根にのみ繰り返し衝撃を加えることで、確実に下葉を付け根から削ぎ落とすことができる(図10)。

下葉取りブレードの先端形状は、上流部と下流部で異なった形状を採用している(図11)。上流部は、子葉・下葉の除去を主目的とし、下葉取りブレードが作物の株形状に沿って変形しやすいように深いスリットを設けるとともに、下葉を確実に捕らえるための「かえし」や溝を配置した。それに対して、下流部は、下葉取りブレードの剛性を高めるためにスリットを浅くし、ブラシ形状にすることで株元を磨く効果を狙っている。

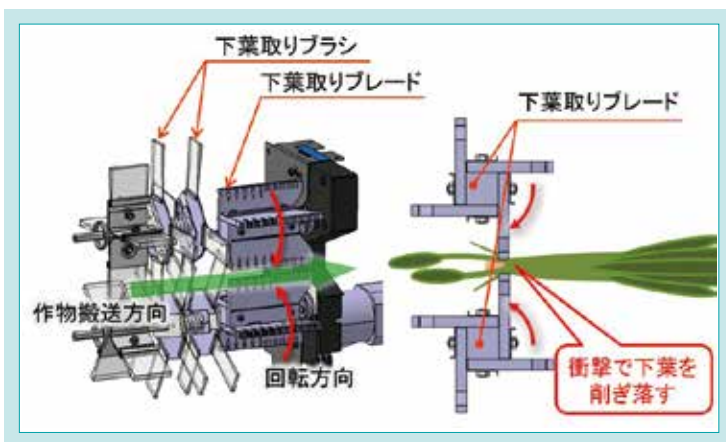


図9 開発機における子葉・下葉除去機構

Fig. 9 Mechanism of “NC301” for Removing Cotyledons and Lower Leaves



図10 株元に作用する下葉取りブレード

Fig. 10 Blade for Removing Cotyledons and Lower Leaves

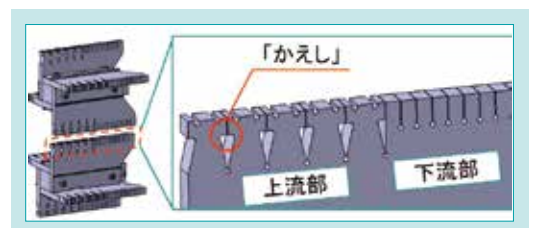


図11 下葉取りブレードの先端形状

Fig. 11 Tip Shape of Blade

4.2.2 成果

表2は、複数品種における子葉・下葉除去精度を開発機と従来機で比較したものである。評価指標である子葉・下葉除去率とは、機械で除去した子葉・下葉の重量を、除去すべき子葉・下葉の全重量で除して算出した。また、本葉ロス率とは、機械で損傷・誤除去した本葉の重量を、調製が完了した株全重量で除して算出した。

それぞれの機体での子葉・下葉除去率及び本葉ロス率

の平均値を見ると、開発機の子葉・下葉除去率は92.3%で、目標値90%以上を達成している。また、従来機に対し13.6ポイント向上したことで、再調製の手間が減少し、作業効率の向上が期待できる。また、本葉ロス率は1.0%で、目標値5%以下を満足しており、従来機に対し2.3ポイントの低減となった。このことから、作物の損傷を低減し、歩留り改善にも効果があると言える。

表2 子葉・下葉除去精度に関わる評価結果

Table 2 Evaluation Results Related to Cotyledon and Lower Leaf Removal Accuracy

| ハウレンソウ 品 種 | 地区 | 子葉・下葉 除去率 (%) | | 本葉ロス率 (%) | |
|---------------|----|---------------|------|-----------|-----|
| | | 開発機 | 従来機 | 開発機 | 従来機 |
| 目 標 値 | | 90 以上 | — | 5 以下 | — |
| サンホーブセブン | 岐阜 | 93.7 | 67.2 | 0.0 | 0.1 |
| スーパースター | 岩手 | 90.5 | 88.4 | 0.1 | 1.1 |
| サンホーブセブン | 岐阜 | 90.0 | 85.0 | 0.5 | 1.4 |
| スクープ | 群馬 | 96.5 | 74.6 | 3.4 | 4.5 |
| フォルテシモ | 岐阜 | 90.6 | 78.1 | 0.8 | 8.9 |
| 平均値 | | 92.3 | 78.7 | 1.0 | 3.3 |

4-3 作業効率の向上とユーザ評価

4.3.1 作業効率の向上

調製作業効率について、従来機と開発機での比較結果を表3に示す。それぞれの機体での平均値を見ると、従来機の563 株/(人・h)に対し、開発機は約65%向上し、927 株/(人・h)であった。つまり、作業時間を約40%削減できたことになる。

開発機では、根の切断精度及び子葉・下葉除去精度の向上により、手作業による再調製作業が減少したことで、時間当たり処理量の向上や仕上げ作業人数の削減が可能となった。

4.3.2 ユーザビリティの改善

開発機ではユーザビリティに関わる面でも様々な改善に取り組んだ。その一例が、排出コンベアに作物サイズを識別するためのラインを印字したことである(図12)。仕上げ者は、作物を「S」、「M」、「L」など出荷基準のサイズに仕分ける。その際はスケールを用いて測定することが一般的であったが、作業効率の低下を招いていた。この改善により、仕上げ者は一目で作物のサイズを認識することができ、作業効率の改善につながった。

4.3.3 ユーザ評価

開発機では、延べ1000時間以上の実証試験を実施した。作業効率が従来機に対し大幅に向上したことで、ユーザから高評価を得ることができた。また、ユーザ意見として「根や下葉が自動できれいに除去できるので、手間が減少した。」といった性能に関する評価や、「機械を使用すれば、初心者でも調製作業ができる。」といった操作性に対する評価をいただいた。また、ハウレンソウ栽培は年間通して複数回の作

表3 調製作業効率に関わる評価結果

Table 3 Evaluation Results Related to Work Efficiency

| ハウレンソウ 品 種 | 地 区 | 作業効率 (株/人・h) | | 向上率 (%) | 作業時間 削減率(%) |
|---------------|-----|--------------|-----|------------|----------------|
| | | 開発機 | 従来機 | | |
| サンホーブセブン | 岐阜 | 897 | 570 | 57.3 | 36.6 |
| スーパースター | 岩手 | 956 | 556 | 71.9 | 41.7 |
| 平 均 | | 927 | 563 | 64.7 | 39.3 |

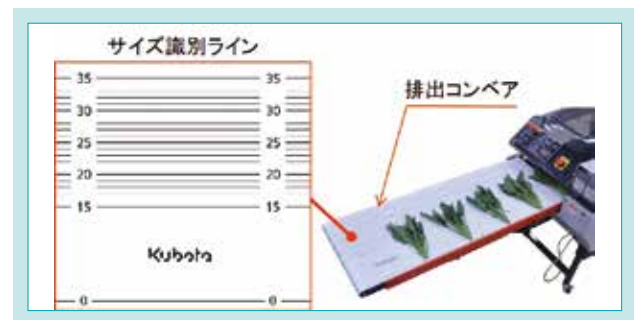


図12 作物サイズ識別ライン

Fig. 12 Crop Size Identification Line

付けを行うことが一般的であり、調製作業を行いながら、播種や中間管理も同時に行う必要がある。あるユーザからは、「調製作業の時間が短縮できれば、圃場に行く時間を増やすことができる。そうすれば、今まで以上に高品質な作物の生産に繋がられる。」といった高品質な作物生産の実現に向けた意見をいただくことができた。

5. おわりに

本開発では、ハウレンソウ等の軟弱野菜栽培において、最も多くの時間と人員を必要とする調製作業の機械化による効率化を目的とし、軟弱野菜調製機NC301を開発した。開発機は、根の切断精度と子葉・下葉除去精度の大幅な向上により、調製にかかわる作業時間を従来機に対して約40%削減することに成功した。

この製品が、熟練作業員不足の解決と、調製作業の効率化・

軽労化に貢献するとともに、お客様の作付面積拡大や、高品質な作物生産の一助となることを期待する。

今後の展開として、軟弱野菜には、ハウレンソウや小松菜以外にも、春菊や水菜など様々な作物があり、調製方法も多岐にわたるが、お客様の要望をもとに、より多くの軟弱野菜に対応できるよう技術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 調製作業時間を従来機比約40%削減で生産性向上に貢献

9.5 科学研究、イノベーションの促進 野菜作における機械化促進に貢献

参考文献

- 農林水産省:「農業経営統計調査、平成19年産品目別経営統計」1-6、(2007)、
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/hinmoku/>、(参照日2020-10-01)
- 小林有一ほか:「高能率ハウレンソウ調製機の開発および性能について」農業食料工学会誌、80-6、(2018)、pp.434-439

Development of MU4902 Tractor for ASEAN Market

アセアン向けトラクタ MU4902 の開発

KUBOTA Research and Development Asia Co., Ltd.

In recent years, under the policy of the government, the transition from rice cultivation to dry crop cultivation was making progress in Thailand. While rice has been the largest harvested area by crop, the harvest area occupied dry crops (sugar cane, cassava, corn) is expected to increase due to the Thai government encouraging farmers to change to crops other than rice and also the growing demand for bioethanol.

As a result, there has been an increasing demand for heavyweight tractors for dry field farming away from conventional lightweight tractors used in paddy fields.

Moreover, looking at other ASEAN countries, in Cambodia, in addition to the two consecutive seasons of rice cultivation (dry field / paddy field), cassava was also a major crop. In Myanmar and Laos, in addition to rice (dry rice fields), beans and cassava were major crops. It was thought that the market for heavyweight tractors for dry crops was expanding. Against this background, KUBOTA Research and Development Asia (KRDA) has developed a tractor for ASEAN dry-crop farming. Clarify the tractor specifications required for ASEAN dry-crop farming tasks and introduce the required development technology.

【Keyword】

Heavyweight Tractor, Dry Field, Operating Speed, Fuel Consumption, Local Development

タイは、政府の政策のもと、米作から畑作への移行が進んでいる。作物別収穫面積で最も大きいのはコメであるが、畑作物(サトウキビ、キャッサバ、コーン)は、タイ政府による米からの転作奨励、また、バイオエタノールの需要の高まりに、収穫面積の増加が予測される。従来の水田向け軽量トラクタから畑作向けに牽引力のある重量のあるトラクタの要望が大きくなってきている。また、他のアセアン諸国を見渡すと、カンボジアは、米(乾田/水田)の二期作に加えてキャッサバが主要作物となっている。ミャンマーやラオスは、米(乾田)に加え、豆やキャッサバが主要作物となっており、畑作向け重量級トラクタの市場が広がっていると考えられる。このような背景の中、KRDAは、アセアンの畑作向けトラクタを開発した。アセアン畑作作業で必要となるトラクタスペックについて明確にし、必要となる開発技術について紹介する。

【キーワード】

重量級トラクタ、畑作、作業スピード、燃費、現地開発

Related SDGs



1. Introduction

Rice is the main crop in ASEAN. Kubota tractors has been evaluated by small and medium-sized rice farmers who are also working as contractors, for its light weight, compactness, and good work efficiency, and have

had an overwhelming share in the 41-50 horsepower range. However, even with the same rice, in the dry fields rice and dry crops farming markets, competitor's heavyweight tractor which exceeds the traction force

were increasing the sales. As the harvested area of field crops is expected to increase in the future (see Table 1), it is hoped that tractors will be introduced into the heavyweight tractor market, which Kubota does not have product lineup. (Fig. 1)

This time, developing a new tractor at KRDA, a local development base and developing tractor implements

Table 1 Crop Area in Thailand 2014 vs 2019
表 1 タイの作物面積 2014 vs 2019

| Production | 2014(a) | 2019(b) | (b)-(a) |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Primary rice | 62.79 | 55.96 | ▲ 6.83 |
| Secondary rice | 12.55 | 12.05 | ▲ 0.50 |
| Sugarcane | 8.37 | 12.37 | +4.00 |
| Cassava | 8.98 | 10.74 | +1.76 |
| Maize | 7.50 | 8.71 | +1.21 |
| Para rubber | 18.58 | 18.00 | ▲ 0.58 |
| Palm | 4.41 | 3.55 | ▲ 0.86 |
| Rice total | 75.34 | 68.01 | ▲ 7.33 |
| Other total | 47.84 | 53.37 | +5.53 |
| Total | 123.18 | 121.38 | ▲ 1.80 |

in Thailand where is the main market of the tractors in ASEAN.

Basic performance was important because the functions were limited to introduce an inexpensive tractor. Here, introducing how have achieved the basic performance by taking advantage of the merits of local development.

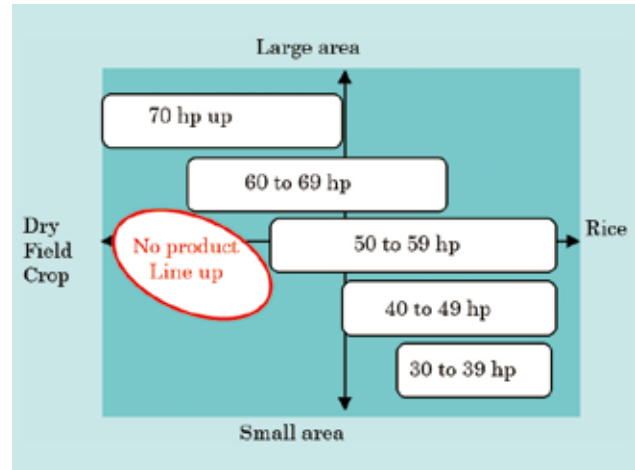


Fig. 1 Positioning Map for Tractors in ASEAN
図 1 ASEANトラクタポジショニングマップ

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

Customers were small and medium-sized dry crops farmers, so low-priced products were desired. Competitors were introducing standard low-cost tractors with simple transmissions and no electronic controls. Therefore, need to develop it as a basic tractor with limited functions and realize a reasonable price.

Because it was a basic tractor, it was difficult to differentiate it from competitors in terms of functionality, so the goal was to overwhelm with basic performance such as fuel efficiency, work efficiency, and workability.



Fig. 2 M4902 Tractor for ASEAN
図 2 MU4902 アセアン向けトラクタ

2-2 Target Value

1. Weight setting for heavyweight tractors
 - Determining the optimum weight
 - Optimal front-rear balance setting
2. Fuel efficiency and work efficiency superior to competitors
 - Addition of shuttle function

- Speed setting for improvement
3. Realization of high operability
 - Shuttle lever position and operating power
 - Arrangement of front dozer lever
 - Arrangement of position lever

3. Technical Challenge to be Solved

3-1 Technical Challenge for Best Weight Setting

The weight of the tractor was an important factor in achieving an appropriate traction force in dry crops farming work. However, if just adding the weight, additional costs will be required for its material cost and the additional reinforcement cost to keep same durability against the weight increase, and the price unnecessarily was increased.

In addition, the weight balance between the front and rear of the vehicle body was important for

achieving stable running and ensuring a constant tillage depth during each actual work.

It was necessary to suppress unnecessary weight increase and realize the optimum front-rear balance of the tractor at a reasonable price.

3-2 Technical Challenge for Better Fuel Consumption and Working Efficiency

In Thailand and other ASEAN markets, it was common to work in the range of 1800 to 2000 rpm engine speed, regardless of the engine rated speed.

It was possible to consider that this was because, in the past, many used oversea major tractors were imported which were equipped with low-speed (rpm), high-torque engines with large displacements. Anyway it's hard to change this habit because it comes from the idea that customers

want to save on fuel costs and don't want to work with high rpm because customers want to use their tractors for as long as possible.

Therefore, it was necessary to achieve fuel efficiency and workability that surpassed the competition in the work of each implement with the engine speed range of 1,800 to 2,000 rpm, which was the actual customer operation range.

3-3 Technical Challenge for Better Operability

In Thailand and other ASEAN markets, there was a lot of work with front dozers. During the work, the blade was constantly moved up and down, so keep right hand on the operating lever. Also, because of leveling work, there were many cases of switching forward and backward. If customers can switch the shuttle lever while holding the steering wheel, they can work without releasing their right hand from the dozer lever, and they do not have to switch right hand from steering wheel to dozer lever. It leads to

reduction of operator fatigue.

In addition, Operators do not use the draft function when working with rotary, disc harrow, disc plow, etc., always put their right hand on the position lever and operate the rear implement up and down so that the tractor speed become constant.

It was necessary to arrange each lever at the optimum position and reduce the load on the operator by improving operability.

4. Developed Technology

4-1 Technology for Best Weight Setting

4.1.1 Weight Setting of the Tractor

We developed MU4902 at KRDA which was developing tractor implements for ASEAN market. Took this advantage and decided that set the weight of tractor including the implements. The weight was set including the front dozer (about 450 kg) that was 90% installed in the market, and the traction force was comparable to that of competitors. By comparing the work performance with competitors not only with the tractor catalog specifications but also with the actual operating weight, have realized a more reasonable tractor price without extra weight increase.



Fig. 3 FD190 Front Dozer for M4902
図3 MU4902用フロントドーザ FD190

4.1.2 Solution of Weight Balance

Implements like a front loader, which increase weight load to the front wheels during work, were not common in the ASEAN market. Therefore, it was not necessary to add weight to the rear wheels if appropriate traction force was generated.

On the other hand, there were heavy and large overhang implements such as a disc harrow. So, by making the front of the tractor as heavy as possible, the front and rear balance was improved, and can achieve stable running and traction force during operation.

Therefore, considering attaching a weight to the front end. However, at this time, as mentioned earlier, co-attachment with the front dozer becomes important.

For the front dozer, it was better to locate the blade as close to the tractor to get the big departure angle and to reduce the offset amount, which was advantageous in terms of strength.

This time, we examined how to attach the front weight and devised a way to reduce the offset amount of the front dozer as much as possible. The weight of the front bracket was set to the weight obtained by subtracting the weight of the hanger weight added in advance to realize the weight required in 4.1.1. The dozer was fitted with a

cylinder to raise and lower the blade. If the hanger weight was attached as usual, there will be no space to attach the cylinder and it will interfere, so the structure was such that the spacer was sandwiched only in that part and the weight was not attached.

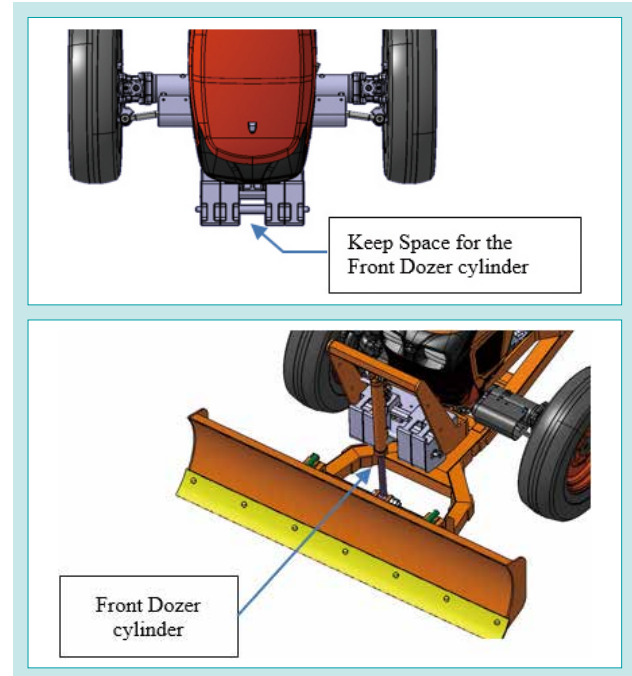


Fig. 4 Positioning of Front Weight and Front Dozer
図4 フロントウエイトの配置とフロントドーザ

4-2 Technology for Better Fuel Consumption and Working Efficiency

4.2.1 Solution of Challenge for Better Fuel Consumption and Work Efficiency

A shuttle mechanism was adopted to facilitate forward / backward switching that was frequently performed in front dozer work. A synchro type shuttle was adopted to keep costs reasonable. In order to handle the increased weight and reduce the shifting operation force of the shuttle lever, we adopted one size bigger synchro system comparing with the same horsepower range.

Next, the optimum tractor speed was considered to realize the customer's work speed for improving fuel efficiency, it was conceivable to increase the number of gearshift and increase the vehicle speed range that can be selected. However, with this method, the number of parts such as gears increases, resulting in cost up.

This time, we considered to cover as much tractor speed as possible with a total of 8 speeds, 2 speeds for auxiliary transmission (constant mesh) and 4 speeds for main transmission (synchro mesh). Customers' working implements were mainly rotary, plow, harrow and dozer, and these four implements cover 80-90 percent of tractor working time. Therefore, we targeted the vehicle speed

setting that was optimal for these work speeds. The Fig. 5 shows the vehicle speed range of the four implements. As mentioned above, these tractor speeds should be achieved at an engine speed of 1800 rpm according to the customer's behavior. Design target was establishing four speeds between 4 and 9km / h. As a device on the low speed side, in ASEAN countries, the rotary work speed was relatively fast, so the rotary speed setting has been made faster so that it can be used for plow work. And as a device on the high speed side, since there was no heavy towing by the trailer, H-1 speed could be increased and set to be optimal for harrow work. In addition, there were many sandy field in cassava and sugar cane planting area. Harrow work was performed at high speed in these areas. By lowering the speed of the H-2, this speed range was covered. Relatively the L-2 speed became slow, but there was no problem because there were no implements used in this speed range. As mentioned above, in order to achieve the required tractor speed, we changed the speed setting that was considered unnecessary, and made it possible to use four speeds, which were half

of total eight speeds. (See Fig. 5)

Fig. 7 shows the results of measuring the fuel consumption and work efficiency in the disc plow work. MU4902, which has four speeds in the working speed range, has many vehicle speeds

to choose from, and it can be said that it was advantageous in fuel efficiency and work efficiency because customer can work at the optimum speed compared to other companies that have only three speeds.

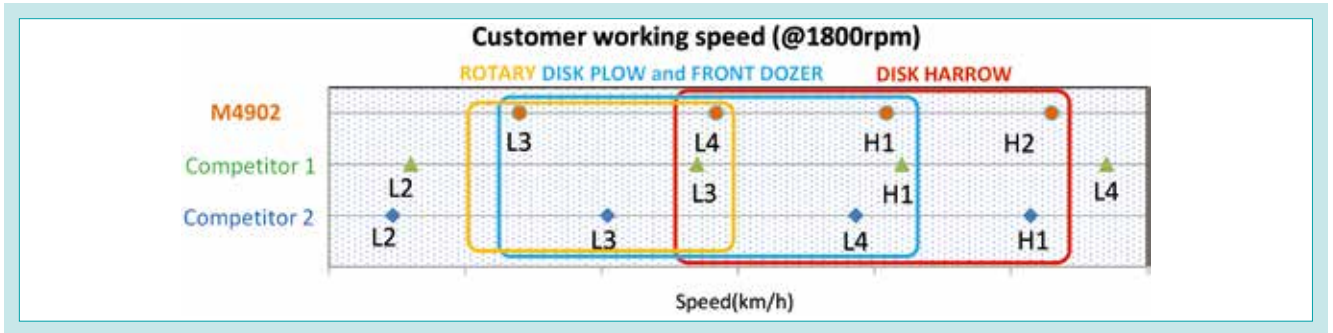


Fig. 5 Tractor Speed and Operating Speed for the Implements
 図5 トラクタ車速と各インプラメント作業スピード



Fig. 6 Disk Plow Operation
 図6 ディスクプラウ作業

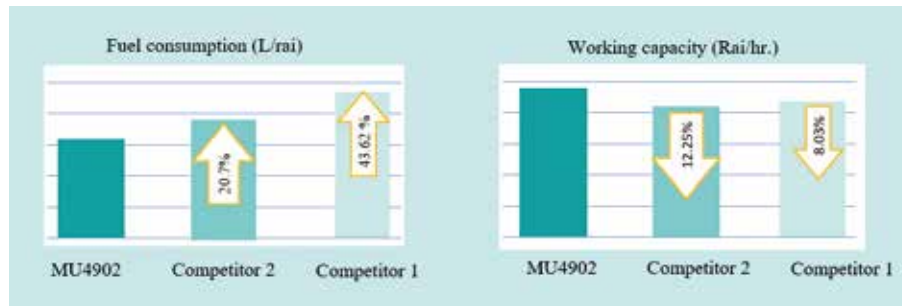


Fig. 7 Fuel Consumption and Work Capacity
 図7 燃費と作業効率の比較

4-3 Technology for Better Operability

4.3.1 Technical Challenge for Shuttle Lever.

As shown in Fig. 8, the lever was arranged so that it could be operated while the thumb was placed on the handle. In addition, since the operation was performed only by the other fingers, the operating force had to be low. By reviewing the detent shape of the shifter and changing the strength of the detent spring, the operating force was reduced. The Fig.9 shows the results of comparison of operating power with competitors. 30% lower operating power was achieved comparing with competitors.



Fig. 8 Position of Shuttle Lever
 図8 シャトルレバーの位置

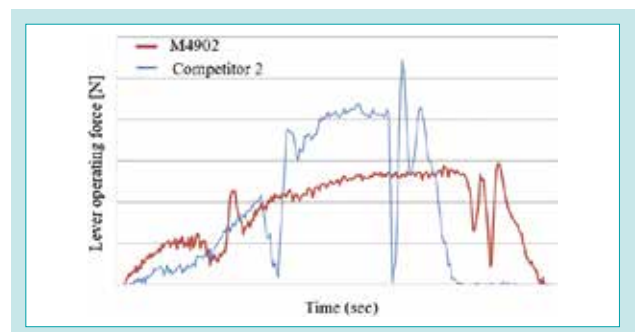


Fig. 9 Operating Force of Shuttle Lever
 図9 シャトルレバーの操作力

4.3.2 Technical Challenge for Other Levers.

There were position lever that adjusts the height of the rear implement, draft control lever, a main shift lever, and a front dozer operating lever on the right side of the operator.

The first thing to consider was the operability of the position lever. Customers do not rely on draft control for the rear implement, and always adjust the tillage depth of the implement with the position lever to achieve stable tillage. It could be said that customers did not release the position lever during tilling work. Therefore, it had to be placed in the best position to reduce the load on the operator. The best position was selected based on ergonomics. In addition, the range in which the customer operates the lever in actual work has been adjusted to match the easy-to-use lever operation range.(Fig. 10)

The next important lever was the front dozer lever. KRDA defines the arrangement range of the operating lever position based on past experience values. (Refer to Fig. 11) However, this area was the space for the position lever and the main shift lever. This time, the best position of the front dozer lever was secured by shifting the position of the main shift lever to the front side. The position lever and dozer lever determined in this way were further improved by repeating the user survey and set as the final position.

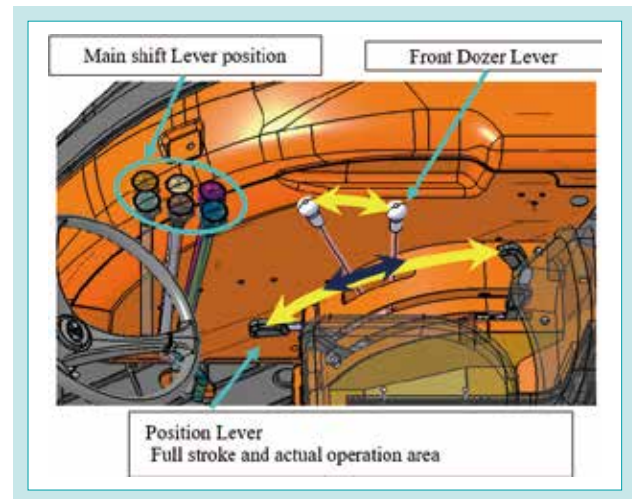


Fig. 10 Positioning of Operating Levers
図 10 操作レバーの配置

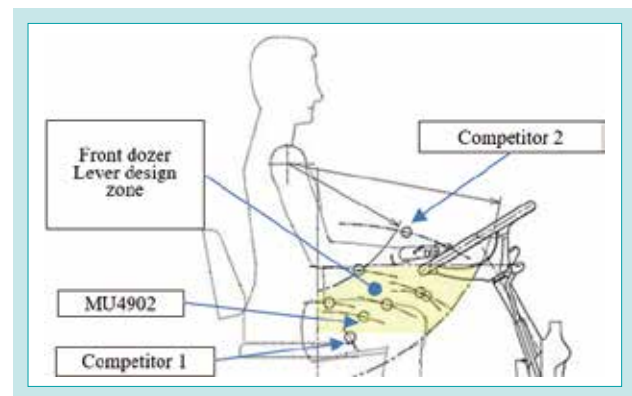


Fig. 11 Front Dozer Lever Design Zone
図 11 フロントドーザレバー設計ゾーン

5. Conclusion

By developing a tractor at a local development base KRDA, we believe that it was possible to develop more "On your side" tractor by being able to develop at the same time as the implements, easily performing on-site performance tests, and listening to the voices of customers. In addition, because it was a basic tractor aiming for a low price, we focused on the basic performance of fuel consumption, work efficiency, and operability. By setting the tractor speed according to the needs of local customers, we were able to reduce fuel consumption and improve work efficiency, and we were

able to differentiate ourselves from other companies. In addition, we were able to reduce the load on the customer by optimizing the lever arrangement and reducing the operating force.

In the future, based on the experience of this development, which was the first local development of tractors, we are going to develop tractors to expand the product lineup aiming to become a Global Major Brand and contributing to agriculture in ASEAN and around the world.

Contribution to SDG Targets

2.3 Increasing agricultural productivity and income

Contribution to the increase in income of farmers in ASEAN through improvement in work efficiency and fuel consumption.

8.2 Improvement in productivity through innovation

Contribution to the productivity by achieving the optimum tractor speed.

Reference

Thai Agricultural Research Journal, 2019

Development of a High Speed Planter

高速播種機の開発

R&D KVG Soest

Climate change and in consequence a shorter time period for optimum planting conditions demanding an efficient solution. Instead of using more planters the possibility to improve situation, is a machine, which is able to plant at high speed. Hence development of high speed planter was required and the traditional speed range of 7 to 9 km/h was raised up to 18km/h. Beside the speed target higher precision in respect of spacing (planting distance from one seed to the other) was achieved. To reach this task the Optima planter was changed from a vacuum system to a pressure system. The new system, Optima SX, is highly efficient and does not need complicated techniques. By increasing the working speed customers get 30 to 40 % more efficiency without additional resources. A high level of standardization puts KVG in a position to reach proper margin at attractive prices for our customers.

【Keyword】

High Speed Planter, Spacing, Interrupter, Pressure System, Vacuum System

近年の気候変化による影響や、播種に最適な期間は短いことから、効率のよい播種作業が求められている。そこで我々は、複数の播種機を使用するのではなく、従来の播種作業速度(7~9km/h)を大幅に上回る18km/hで作業可能な高速播種機Optima SXを開発した。新機種では、作業速度に加えて播種間隔の精度向上も図っており、そのため種子の播種ディスクへの吸着方式を従来の陰圧式とは逆に陽圧式に変更した。この新構造によりOptima SXは、複雑な機構を必要とせず効率を向上することができた。こうして作業速度を上げることで、30~40%の作業効率の向上を実現した。今回開発した新技術により、我々はお客様にこの製品を魅力的な価格で提供することを可能にした。

【キーワード】

高速播種、播種間隔、遮断装置、陽圧構造、陰圧構造

Related SDGs



1. Introduction

Kverneland (KV) Optima maize planters (Fig. 1) are the most important products in the Soest factory. Yearly 6000 sowing units are sold in average, which represents approximately 1000 complete machines and 30% market share of EU. Optima planters are popular for their reliability, preciseness of seed spacing and outstanding options like GEOCONTROL. The main task of a precision drill is to achieve the preset spacing (Fig. 2). It is important that the distance from one seed to the other is exact same, and one seed only in one position with no doubles and no misses. The planting depth has also to be accurate. This parameters need



Fig. 1 Optima SX TFprofi

図1 Optima SX TFprofi

to be correct at any speed (5-18 km/h) at different spacing's (3 -120 cm) and planting depth (1-10 cm). This must work with a wide range of seed, from oilseed rape seed to beans (granule diameter 2 mm-18 mm,) and their varieties. Seed shape are not following norms and every year seed shape is changing and the coating as well. Pneumatic vacuum precision drills have mainly replaced mechanical systems today, except those for sugar beets.

The main principle of a vacuum system is explained in Fig. 3. Vacuum let seed move onto disc. (There are different discs for seeds/ diameter of holes and spacings/ number of holes). An electric motor drives the seed disc. Disc revolutions depending on forward speed of machine and preset spacing. In case, more than one seed sits on a hole, the adjustable scraper makes sure one seed stays on the hole only. At a certain position the interrupter stops vacuum influence and seed falls down by gravity



Fig. 2 Spacing
図2 播種間隔



Fig. 3 Vacuum System
図3 陰圧構造

through a channel into furrow. The correct spacing is depending of exact timing of this process and the fixing of seed in the ground. In average every second 20 seeds are planted.

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

The concept was defined by the main requirement of high speed planting without decreasing spacing performance. R&D started with the idea to improve existing seed heart. The reason has been to make use of well performing components and save therefore time to market. In addition

to this approach, it guarantees a high level of standardization. The new seed heart must fit into the existing row unit to make it available for most of the Optima models. Furthermore several components need to be reinforced because of massive force increase by doubling forward speed.

2-2 Target Value

The new Optima SX is supposed to be the high end planter of KV portfolio fulfilling planting speeds up to 18 km/h with minimum same performance than actual model does at a speed of 8 km/h. This is valid for maize, sunflowers, sugar beet, soya and oilseed rape just to mention the core crops. To avoid a second product line and keep cost reasonable,

a high level of standardization was requested. Accessories and options like GEOSEED (all seeds of a complete field aligned triangular or in squares) must fit to existing and new planters. The benefit for customers is an increase of efficiency by 30% to 40% by investing approximately 20% more money for this technology.

3. Technical Challenge to be Solved

Doubling the planting speed with an existing vacuum system is not possible because the spacing is not acceptable. There are more than one challenge, but in general we have always undefined shape, diameter and roughness of seed surface which will vary year by year. In other words we need a less sensitive system regarding the seed characteristic and technical wise components which allow a more precise timing:

- Reliable engagement of seed at holes of the seed disc

- Accurate singling
- Precise timing getting the seed off the disc
- Improve transport of seed into furrow
- Fix the seed within the furrow

This has to be possible at rate of 40seeds/s, which is a big challenge. On the other hand the system must be easy and quick to adjust for an optimum result. Due to short planting period (Europe approximately 3 weeks) machine must be absolute reliable and easy to maintain.

4. Developed Technology

4-1 Technology

4.1.1 Technical Challenge

The timing of the complete process from seed bin into furrow must be always the same in best case to bring the timing deviation to nearly zero was one

main target. In a first step we identified the weak points within a vacuum system.

4.1.1.1 Interrupter

The deviations in releasing time, the different seeds show to get off the disc, were too high. First target has been to make this process uniform. Every seed must move off the disc at the same position and time (Fig. 4). Therefore a new interrupter with automatic setting was designed to guarantee a quick, full closing of hole at backside of disc (Fig. 5) to achieve a sudden stop of airstream.

Therefore, it is necessary to keep the disc clean, which is proven by rotation of interrupter.

This interrupter disc itself touches the seed heart housing where the drive comes from. The spring load of interrupter is acting lateral and tangential. There have been minor improvements on timing but reliability was increasing very much. For the spring load system of interrupter a patent was granted.



Fig. 4 Interrupter (Work)
図4 遮断装置(作動時)



Fig. 5 Interrupter (w.o. Disc)
図5 遮断装置(ディスク無)

4.1.1.2 Seed Bouncing in Channel

Seed is dropping off the disc into the channel (Fig. 6). Different speed of disc, seed shape and coating and also weight of seed determine the flight curve into and within the channel. Ideally, the seed should not touch channel inside. In practice we find this behavior but also any kind of bouncing within the channel. This is a knock out criterion for the timing process. Testing channels with different inserts did not perform (Fig. 7). We need a technology for

a homogenous movement of seed. There have been ideas of elevator belt (Fig. 8) with boxes or meters with one box per seed. This should pick seed coming from singling disc and release it at furrow (Fig. 9). Improvements could be seen but release into furrow was undefined and depending on circumference speed of meter. Disadvantage on top has been meter boxes need to be aligned to size of seed. This solution did not perform and was too complicated.



Fig. 6 Seed Channel
図6 種子経路

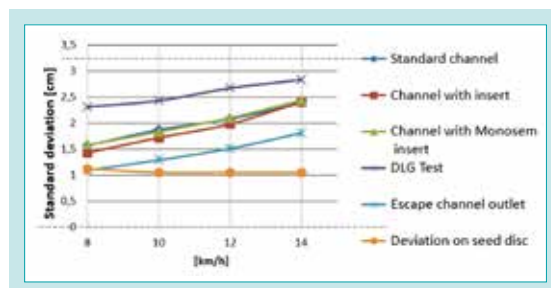


Fig. 7 Test Row Different Channel Insert
図7 経路別の試験結果



Fig. 8 Elevator Belt
図8 エレベーターベルト

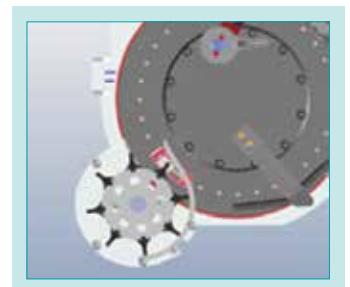


Fig. 9 Box Meter Solution
図9 ボックスメータ構造

4.1.1.3 Placement in Furrow

The seed passes the outlet of the channel with a certain energy. When touching down into the furrow, the seed might move forward, depending on furrow shape, organic material and speed of seed. (Fig. 10) If forward speed of planter is not identical with speed of seed it will move within the furrow. Not too seldom it was observed, that a seed overtakes the next one by rolling down the furrow, which causes a bad spacing result obviously. All improvements made before in the process are made obsolete at this point. To prevent the seed movement in the furrow a press wheel was placed directly behind the channel outlet to stop the seed at once (Fig. 11). Tests in field have confirmed that this is the right way forward. To fulfil this function, press wheel

must be put a extremely narrow to the outlet. This causes very often the danger of chopping or soil building up. At least press wheel stops, which is even worse and not for use in practice.



Fig. 10 Furrow
図 10 播種溝

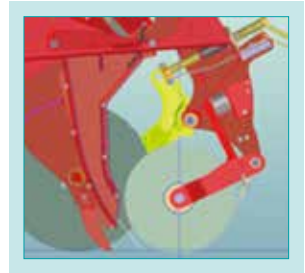


Fig. 11 Wheel
図 11 車輪

4.1.2 Solution of Challenge

The general solution to solve issues mentioned above was a transition from a vacuum operated system to a pressurized system. The operation air pressure is about 60 to 80 mbar. Instead of vacuum, we make use of air pressure force to attach seed on disc and use this force again in addition to gravity force to unstick seed off the disc. The principle is shown in Fig. 12, where the arrows indicate the flow direction of air pressure unit. The escape of air follows through holes of seed disc or through the tube leading seed to the furrow.



Fig. 12 Air Flow
図 12 空気の流れ

4.1.2.1 Solution for Interrupter

Improved interrupter (Fig. 5) performed well and no further change was necessary.

4.1.2.2 Solution for Channel Bouncing

Instead of the channel, a 20mm diameter tube is responsible for seed transport from disc to furrow. Within the new developed pneumatic system there is an excess pressure of approximately 65 mbar. This force takes the seed as soon interrupter is working off the disc and transporting it with speed of 20 m/s through the tube (Fig. 13). We achieved two things here: Improving the process to get the seed off the seed disc due to the additional force instead of just using gravity. With the additional force the influence of seed size, shape and coating decreased.

Secondly bouncing inside the tube is no longer a problem. The air stream drives the seed into the center of tube. A special developed interchangeable seed guidance (patent granted) supports this process. The seed stays in the center of tube until it comes down into the bended outlet part (Fig. 14). Within the bend of the tube seeds glides

smoothly along the tube wall. There is a minor loss of preciseness, because transport forces are much higher than friction forces and in addition, every seed show the same behavior; hence the possible deviation of timing is based on different friction which depends on seed size, shape and weight.



Fig. 13 Modified Unstick Area
図 13 改良後の種子落下位置



Fig. 14 Tube
図 14 種子用管

4.1.2.3 Solution for Placement in the Furrow

At the outlet of the tube seeds reach speeds between 60 and 80 km/h. Hence it is mandatory to have an application to catch the seed and fix it into ground (Fig. 15). We had already some experience with a press roller and this time we could allow more space between outlet and catch/press wheel. To prevent the seed from damage, process of catching and fixing must be as soft as possible. On the other side this “catch/press wheel must work trouble free in stony and wet conditions. To fulfill a proper



Fig. 15 Outlet Section with Catch Wheel
図 15 排出口とキャッチホイール

A rubber wheel with soft and high sidewalls perform to all demands. The angle of outlet to point of impact is shallow, so that the seed is jammed between tyre and soil. (Fig. 17) The flexible sidewalls of wheel bulging outwards under (weight) pressure. The furrow is therefore closed and no seed is able to pass the wheel (Fig. 18). This process of active stopping the seed have the biggest impact on increasing the speed. Even more this solution is responsible for optimum spacing results at high speed a vacuum system never reached at 9 km/h.

catching, we need to cover complete furrow profile and seed must not rebound when hitting the wheel. To find the right composition of rubber and geometry was not easy (Fig. 16). If rubber is too soft lifetime is limited. Stones cut the tyre surface and soil is getting inside the system and stops working immediately. If tyre is too hard, there is a risk of seed damage, rebounding of seed and blocking in sticky soil.

Therefore, a good flexing behavior of tyre is requested.



Fig. 16 Catch Wheel Evolution Phases
図 16 キャッチホイールの経緯



Fig. 17 Outlet
図 17 種子排出部



Fig. 18 Bulging Catch Wheel
図 18 幅広キャッチホイール

4-2 Challenge and Solution to Reach a High Level of Standardization

Precision seeders are highly customized and the number of different parts are always at the limit. To avoid a complete new range we stressed the fact of multiple use of parts. The advantage of existing parts are, they need not to be tested and can save time and costs in the development process. While developing the new seed heart the row unit body of the Optima was under value engineering in parallel (Fig. 20-22).

This gave the opportunity to reinforce the body due to higher forces at high speed and make it fit for the two seeding hearts. On top a saving of approximately. 10% costs of a complete standard unit was reached. The seed heart itself stayed on the drum principle (Drum consist of back half of seed heart; and seed disc (Fig. 19). The sealing surface is comparatively to other systems small; this causes less friction and in consequence, less

torque for disc drive. (USP)). Scraper, interrupter, seed disc and complete option list stay the same. Even the existing fan fits for vacuum and pressure system. We achieved a standardization level of 80%.

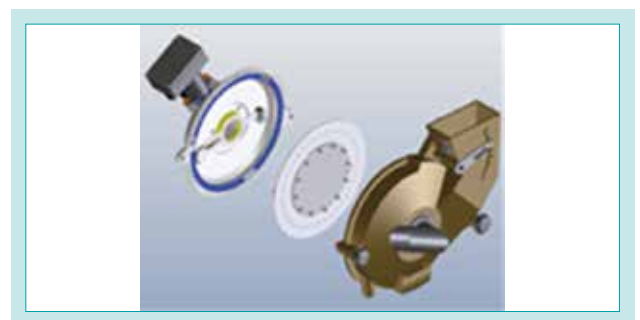


Fig. 19 Seed Heart (Drum Principle)
図 19 種子吸引構造



Fig. 20 Optima Before Value Engineering
図 20 Optima 改良前



Fig. 21 Optima HD (Vacuum)
図 21 Optima HD(陰圧式)



Fig. 22 Optima SX (Pressure)
図 22 Optima SX(陽圧式)

5. Conclusion

The change from a vacuum processed system to a pressurized system showed big advantages. Though the principle of using the pressure difference within the system stays the same, the result is exceedingly better. Using the positive pressure for getting the seed off the disc and transport down to the furrow the weak phases of a vacuum system could be eliminated. In general the planting distance is significantly better and also the rate of double seeds or missing seeds are reduced. Depending on crops and conditions planting speeds up

to 18km/h are possible. For the farmer it means better planting performance and higher speed (Fig. 23). This saves seed by 3 to 5% as a result of less doubles and misses, exact spacing and optimum timing of planting. High speed allow to increase the output by 40%. This is saving money for operation per ha. A high ratio of standardization keeps surcharge for an Optima SX high speed planter relatively low (+15%). The Optima SX is in full series and show an outstanding field performance.

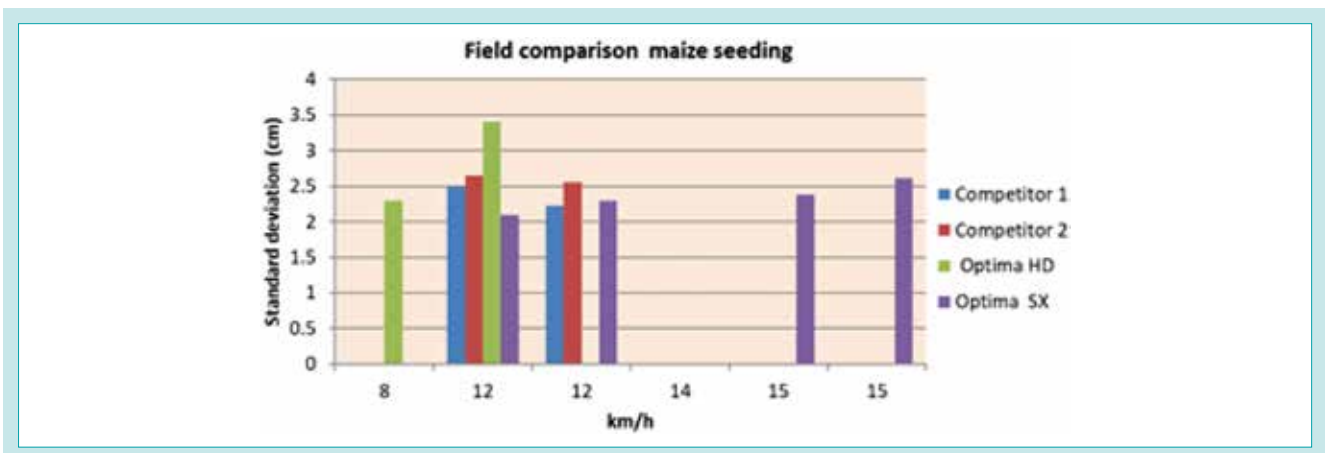


Fig. 23 Standard Deviation of Placing
図 23 播種間隔の試験結果

Contribution to SDG Targets

- | | |
|---|--|
| 2.3 Increasing agricultural productivity and income | Contribution to the increase in income through improvement in work efficiency. |
| 8.2 Improvement in productivity through innovation | Contribution through saving natural resources in this case seed. |

Reference

<https://ien.kverneland.com/Seeding-Equipment/Precision-Drills/Kverneland-Optima-SX-sowing-unit>
<https://www.youtube.com/watch?v=vuYJ9UYezLk>

国内向けトラクタ新型SLシリーズの開発

Development of SL Series Tractor with “Keeping Straight Function”

トラクタ技術第一部／機械研究第一部

加速する省力化農業のニーズを受け、クボタGS（Go Straight, 直進アシスト機能）農機の第3弾として、新型SLシリーズトラクタにGS機能を搭載し2020年1月に市場投入した。21～44 kW（28～60 馬力）のキャビン仕様、安全フレーム仕様、パワクロ仕様、ホイール仕様といった豊富なラインナップ、多様なインプラメントへの対応を行い、幅広いニーズに対応した。本稿ではSLトラクタGS仕様で採用した新機能について紹介する。

【キーワード】

ロボット、自動操舵、GNSS

KUBOTA released a new lightweight tractor with the “Keeping Straight Function” in Jan. 2020, in response to an increased demand for labor saving and efficiency in the farming sector.

This new model SL series tractor features the “GS” specification (“GS” stands for “Go Straight”, Keeping Straight Function). This model satisfies the needs of a broad range of customers by providing an enhanced range of options that enrich the line-up such as a cabin model, ROPS model, power crawler model, wheel model in 21-44 kW (28-60 PS), and by supporting multiple implements. This paper describes the new technology added to the model.

【Key Word】

Robot, Automatic Steering, GNSS

関連する SDGs



1. はじめに

新型SLシリーズGS仕様の開発のコンセプトは、高機能でありながら、誰でも簡単に安全に楽にGS(直進アシスト)機能を利用できるようにするということである。新型SLシリーズのほとん

どの馬力帯に仕様として採用し、また適用インプラメント種類を拡充することで、稲作畑作問わずさまざまな作業体系の農家に幅広く受け入れられることを目指した。

2. 技術の紹介

2-1 直感的に操作できる操作表示系・設定フロー

新型SL-GS仕様ではマルチスイッチ等の新規スイッチ、GS用サブモニタの採用と設定フローの工夫により、GS機能のために必要な種々の設定や操作を容易にした(図1)。SLシリーズのユーザにとって必要十分な機能を簡易な対話式設定手順とし、初見でGS走行開始まで迷わず設定、操作できる。昨今の高機能トラクタ、既存の後付け直進アシスト商品にあった敷居の高いイメージを一新し、初心者でも直感的な操作でGS機能を利用できるようにした。



図1 SL-GS仕様 操作系 設定画面
Fig. 1 SL-GS Layout, Setting Screen

2-2 農業の効率化、省力化に貢献する旋回ガイダンス、色塗りガイダンス

旋回ガイダンス:車体の位置を測定するGPS (Global Positioning System) ユニットと車体方位を測定するIMU (Inertial Measurement Unit) ユニットにより、車体の位置、方位を精度よく算出することで実現した。設定した間隔でガイド線を表示(図2)し、旋回動作をサポートする。モニタを進行方向目線上に配置し、進行方向を見ながら当ガイドを利用できるように工夫した。旋回感覚のつかみにくい間接耕耘などで特に有用である。

色塗りガイダンス:作業跡を可視化する機能である(図3)。機能を厳選することでわかりやすさを向上した。後述の代か

きやブロードキャスタといった作業跡の見えにくい作業において特に有用である。

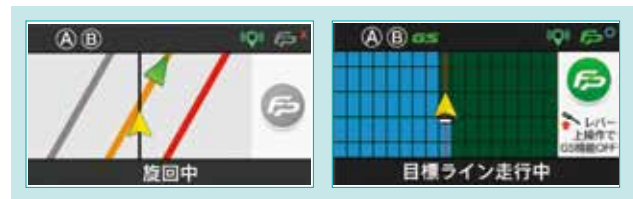


図2 旋回ガイダンス
Fig. 2 Turn Assist Guidance

図3 色塗りガイダンス
Fig. 3 Color Fill Guidance

2-3 GSトラクタ普及を狙った、多様な作業への対応

日本各地でさまざまな立場のオペレータの意見を広く集め、表示・操作のわかりやすさを追求し、作業体系にあわせて対応できる作業機の種類を拡充した。新型SLシリーズにおいては特に牽引系及び水田系インプリメントを充実させた。また、市場要望の高かったバック走行時のGS機能も検討し、幅広い場面でお客様にGS機能を利用していただくことを目指した。新型SL-GS仕様から拡充された作業を紹介する(図4)。

<牽引系インプリメント>

プラソイラ、スタブルカルチ:ロータリより速い速度で荒く作業するという性質上、操舵の速度を落とし、自然な形でアシストすることで直進精度、安全性を両立させた。

<水田系インプリメント>

畔塗り機:作業車速の遅さ、畔からの抵抗に起因する車体の追従の遅れが最大の課題であったが、車体方位角に対するステアリングの感度を高め、課題をクリアした。

代かきハロー:ロータリと類似しているものの、轍に足をとられるなどの湿田特有の動きに対応するためロータリよりも外乱に対する瞬間的な反応性を高めた。

ブロードキャスタ:作業機が接地しておらず、かつ高速であるため車体が外乱や操舵の影響を受けやすいが、方位角

速度指示の上限値を低めに設定することで必要以上の操舵制御を防止し、自然な操舵を実現した。

バック走行:狭いほ場での畝立てにおいて、これから立てる畝列を踏まないようにバックで元の位置まで戻り、再び畝を立てるという方法がある。バック時にGS機能を使いたいという市場要望を反映し、他社製品にない独自の機能として実装した。安全性、操作性の両立を目指し、使用最高車速の検討、後進時でも安全を確認できるお知らせ機能、操作しやすいスイッチ配置に注力した。



図4 多様な作業への対応
Fig. 4 Supports for Multi Implement

3. おわりに

SL-GS仕様は2020年1月に販売を開始した。9月までに約500台の販売となり、全SLシリーズの中の比率は18%と堅調な滑り出しである。しかし、対応できる作業機のさらなる拡充や

利便性の追及など、課題は多く残されている。本稿で紹介したGS機能が、新標準機能に将来なっていくことを見据え、今後も農家の声を開発に反映させていく。

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料増産に貢献
- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 GPSを用いた農業技術により食料生産性の向上に貢献
- 9.5 科学研究、イノベーションの促進 先端農業の普及に貢献

03・07・V3 StageVエンジンの開発

Development of 03・07・V3 StageV Engines

エンジン技術部

19 kW以上56 kW未満の出力帯をカバーする03・07・V3シリーズエンジンは、多くの産業機械に搭載されており、クボタ立形水冷ディーゼルエンジンの主力機種となっている。これらのエンジンを展開する欧州では、強化された新たな排出ガス規制(以下「StageV」という)が2019年から施行されている。今回、StageVに対応するとともに、従来機に対する市場要望に応えて製品力を向上した新機種を開発した。本稿では、主な市場要望であるラインナップの拡充、ダウンタイムの短縮を達成するためのアプローチについて述べる。

【キーワード】

StageV、ラインナップ拡充、高出力化、ダウンタイム短縮、DPF

Our leading product, 03・07・V3 series which are Kubota vertical water-cooled diesel engines covering the power range of 19-56 kW are installed on many machines. In Europe, where these engines have penetrated the market, a new emission regulation (StageV) came into effect from 2019. Accordingly, we have developed new models that comply with StageV and improved product appeal in response to customer's requests for conventional models. Here we describe our approach to meeting customer's requests by expanding the line-up, and by decreasing downtime.

【Key Word】

StageV, Expansion of Engine Line, Increase in Engine Output, Decreasing Downtime, DPF

関連する SDGs



1. はじめに

19 kW以上56 kW未満の出力帯をカバーする03・07・V3シリーズエンジンは、クボタの農業機械や建設機械をはじめ、国内外の多くの産業機械に搭載されており、クボタ立形水冷ディーゼルエンジンの主力機種となっている。これらのエンジンを展開する欧州では、StageVという世界で最も厳しい排出ガス規制が2019年から施行されており、その対応としてエンジンのモデルチェンジが必要となった。

従来機は前回の排出ガス規制が施行された2013年に市場投入されており、幅広いラインナップが好評であった。一方、搭載機器の製品力向上のために、エンジンパッケージのコンパクト化やさらなる高出力化・高トルク化が求められていた。また、搭載機器

メーカーはStageVによりエンジンを載せ替える必要があるが、その際の設計変更は最小であることが望ましく、従来機との搭載互換性が重要である。そのため、従来のラインナップを更に拡充し、搭載機器にジャストフィットなエンジン供給体制が必要となった。

加えて、ダウンタイムの短縮に対する要望も強い。ここで、ダウンタイムとは搭載機器が作業できなくなる期間を意味する。レンタル市場での使用が多い搭載機器は高い稼働率を求められる。一方、StageVに対応するためには、排出ガス後処理装置であるDPF (Diesel Particulate Filter) が必須デバイスであるが、使用状況によってはダウンタイムが発生する場合があります、これを短縮することが求められた。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

クボタでは2012年からDPFを採用しており、これまで多くの搭載機器で使用されてきた実績がある。そこで、これまでに培ったDPF搭載エンジンの経験を活かし、次の2つの開発コンセプトを設定した。

- ①従来のラインナップと搭載互換性をもたせるため、従来機をベースとした高出力仕様を新たに開発する。
- ②DPFによるダウンタイムを短縮し、搭載機器の稼働率を向上させるエンジンを開発する。

2-2 目標値

本開発では、従来のラインナップ全8機種に新たに高出力仕様4機種を追加した全12機種を開発した。高出力仕様の一例として、03シリーズエンジンD1803-CR-TIE5の外観図を図1、各シリーズにおける代表機種の主要諸元を表1に示す。開発目標として、以下の2つを設定した。

- ①従来機のターボチャージャにインタクーラを追加し、定格出力を5%~14%、最大トルクを20%~26%向上させた機種を開発する。
- ②DPFによるダウンタイムを従来機から半減させた機種を開発する。

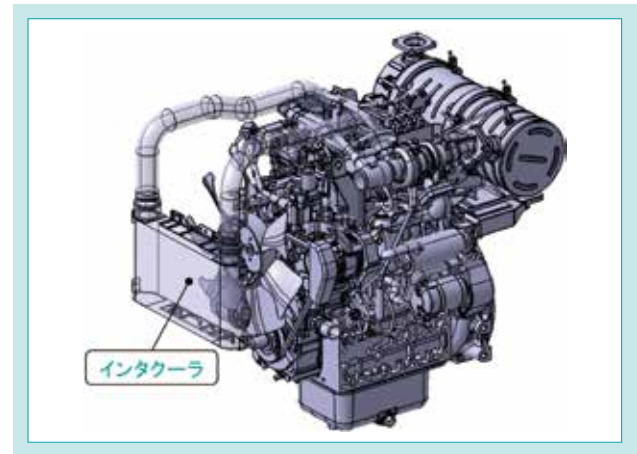


図1 開発機外観 (D1803-CR-TIE5)
Fig. 1 External View of D1803-CR-TIE5

表1 開発エンジン主要諸元
Table 1 Engine Specifications

| Model | D1803-CR-TE5 | D1803-CR-TIE5 | V3307-CR-TE5 | V3307-CR-TIE5 | V3800-CR-TE5 |
|--|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Type / Cylinders | Vertical / 3 | Vertical / 3 | Vertical / 4 | Vertical / 4 | Vertical / 4 |
| Aspiration (T/C: Turbocharged) | T/C | T/C+ Intercooler | T/C | T/C+ Intercooler | T/C |
| Bore × Stroke [mm] | 87.0 × 102.4 | 87.0 × 102.4 | 94.0 × 120.0 | 94.0 × 120.0 | 100.0 × 120.0 |
| Displacement [L] | 1.826 | 1.826 | 3.331 | 3.331 | 3.769 |
| Output [kW / rpm] (Gross intermittent) | 37.0/2700 | 42.0/2700 | 55.4/2600 | 55.4/2600 | 55.4/2400 |
| Maximum torque [N·m/rpm] (Gross intermittent) | 150.5/1600 | 182.7/1600 | 265.0/1500 | 335.0/1400 | 310.0/1500 |
| Rated fuel consumption [g/kW·h] | 243 | 227 | 242 | 227 | 245 |
| Dimensions [mm] (Length × Width × Height) | 746 × 536 × 735 | 746 × 536 × 745 | 878 × 562 × 753 | 878 × 562 × 753 | 844 × 580 × 851 |

※ Dimensions : ファン・インタクーラ無し(搭載機器により異なるため)

3. 解決すべき技術課題

3-1 エンジンラインナップ拡充に関する技術課題

①搭載互換性

高出力化しつつ搭載互換性を維持するため、基本構造・外観レイアウトは可能な限り踏襲し、エンジン全体のサイズアップを最小限に抑える必要がある。

②信頼性の確保

高出力化により筒内最高燃焼圧力(以下「Pmax」という)が増加し部品への負荷が増大するため、エンジンの信頼性を確保する必要がある。

3 - 2 ダウンタイム短縮に関する技術課題

①軽負荷領域におけるDPF再生

本開発で採用するDPFマフラは、DOC (Diesel Oxidation Catalyst:酸化触媒) と、排ガス中のPM (Particulate Matter: 粒子状物質) を捕集する構造を備えたDPFで構成されている(図2)。このDPFマフラは、捕集したPMを定期的に除去するDPF再生と呼ばれる機能を有する。ただし、DPF再生はDOCの触媒作用を利用しているため、DOCが触媒活性温度以下ではDPF再生が成立せず、PMを除去できない。この状態が続いた場合には、オペレータが作業を中断して強制的にDPFを再生する特別な操作を行う必要があり、これがダウンタイムとなる。そのため、排気ガス温度が低下しやすい軽負荷運転においてもDPF再生を成立させる必要がある。

②DPF定期メンテナンスインターバルの延長

DPFには、PMの堆積に加え、エンジンオイル中に含まれるカルシウム、マグネシウムなどで構成された金属性の物質(以下「アッシュ」という)も堆積する。アッシュは、ピストンとシリンダの隙間から燃焼室内に僅かに侵入したエンジンオイル

が燃焼することで生成され、燃焼ガスとともにDPFに移動し堆積するが、PMのようにDPF再生で除去することができない。アッシュが堆積したDPFは、ディーラで取り外しアッシュを除去するDPF定期メンテナンスが必要となるため、オペレータは一定期間作業できずにダウンタイムが生じる。そのため、DPF定期メンテナンスインターバルを延長する必要がある。

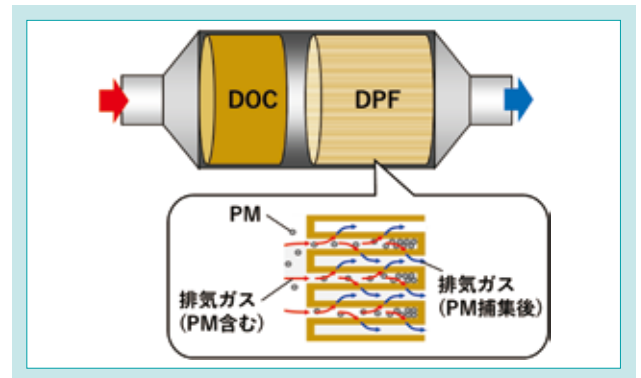


図 2 DPF マフラ
Fig. 2 DPF Device

4. 開発技術

4 - 1 搭載互換性

図3に高出力仕様であるD1803-CR-TIE5の外観寸法を示す。開発機では、ターボチャージャの過給で高温になった空気の温度を冷却し密度を上げるインタクーラを採用することで高出力化を図ったが、エンジンサイズはDPFマフラ固定部品の変更により従来機と比べ高さ方向に10mmアップと最小限の増加に抑えた。一方、エンジンマウント部を含む基本構造を変更していないため、搭載互換性は維持した。加えて、燃料噴射制御を最適化したことで、従来機に対して定格出力を14%、最大トルクを21%と大幅に向上させた。同様に、07シリーズエンジンV3307-CR-TIE5もインタクーラを採用し、搭載互換性を維持しながら、最大トルクを26%向上させた。

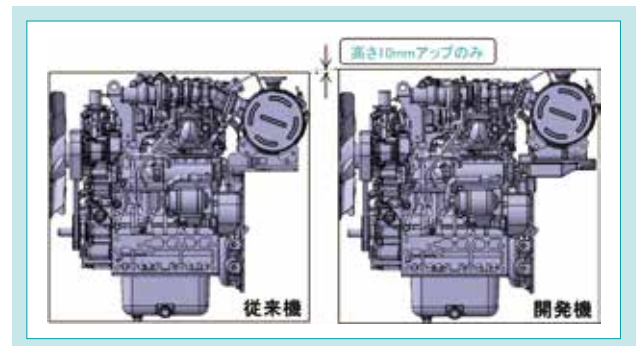


図 3 外観寸法比較 (D1803-CR-TIE5)
Fig. 3 Comparison of External Dimensions

4 - 2 信頼性向上技術

本開発では、高出力化により増加する傾向がある P_{max} に対するエンジンの信頼性を確保するために、 P_{max} を低減させるとともに、高 P_{max} に対応するべく周辺部品の改良に取り組んだ。以下に、V3307-CR-TIE5におけるアプローチを示す。

4.2.1 燃焼の最適化

燃料噴射時期を遅角化することで燃焼が緩慢になり P_{max} を低減できることが、一般に知られている。一方、遅角化による P_{max} 低減は燃費やPMとトレードオフの関係にあるため、これらを両立することは困難である。そこで、燃焼室を改善する

ことで燃焼の最適化を図り、 P_{max} 低減に取り組んだ。

1つ目の取り組みとして、ピストンの圧縮比を3%低減したことにより、 P_{max} を7%低減した。また、低圧縮比化により圧縮端温度を低減させることで、燃料を噴射してから着火に至るまでの時間が延びることによる燃料と空気の均一化促進を図った。その結果、排出ガス規制対象である NO_x (窒素酸化物)とPMを同時に低減した。低圧縮比化により悪化する傾向にある低温始動性に関しては、燃料の多段噴射制御を最適化したことで低温環境下での確実な始動性を確保した。

2つ目の取り組みとして、燃焼室形状を最適化した。図4に

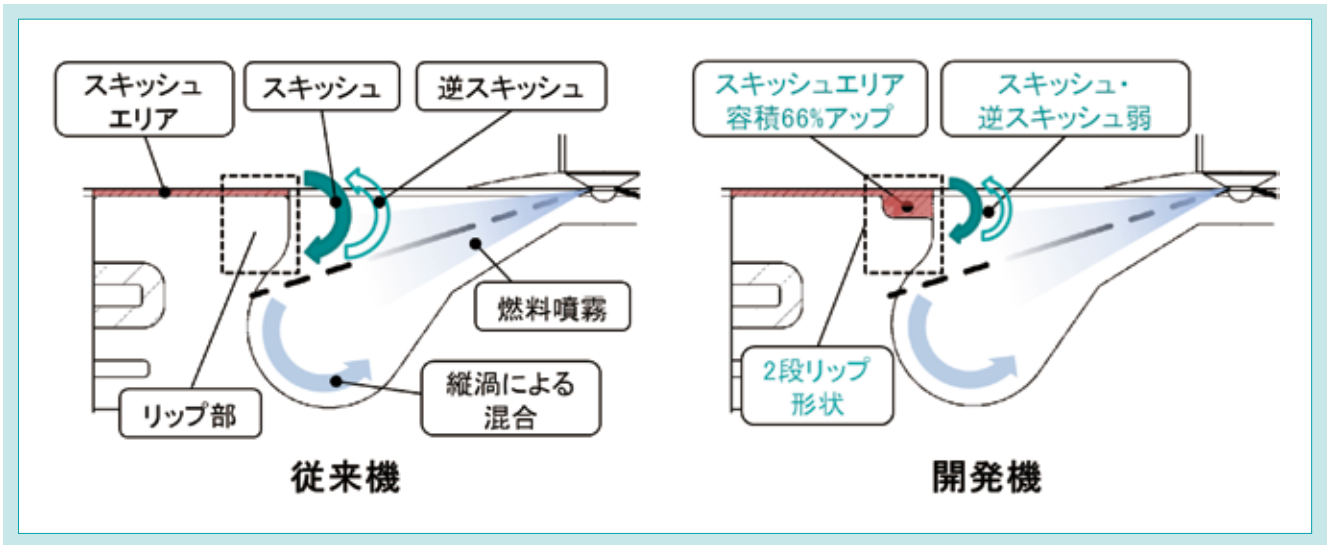


図4 燃焼室形状の最適化
Fig. 4 Optimization of Combustion Chamber Geometry

ピストン燃焼室形状を示す。従来機の燃焼室はリップ部の上部とシリンダヘッドの間にスキッシュエリアと呼ばれる空間をもつ。圧縮工程ではスキッシュエリアから燃焼室内に向かうスキッシュ流が生じ、膨張行程においては燃焼室内からスキッシュエリアに向かう逆スキッシュ流が生じる。燃焼室内に高圧で噴射された燃料は、燃焼室壁面に沿って縦渦を形成し燃焼室内の空気と混合しながら燃焼するが、従来機の燃焼室ではスキッシュエリアが狭いため燃焼ガスの流れに反する逆スキッシュが強く、高温の燃焼ガスがリップ部付近に集中する⁰。そのために生じる局所的な高温領域では、空気中の窒素と反応してNO_xが生成する。これを抑えるためには、逆スキッシュを弱らせ燃焼を均一化させることが有効である。そこで本開発では、燃焼室の上部に凹みを設けた2段リップ構造を採用することでスキッシュエリアを66%拡大した。この構造により膨張行程における逆スキッシュを弱らせNO_x生成を抑制した。また、2段リップ型燃焼室では燃焼室外に流出した燃料をスキッシュエリアにある空気を利用して燃焼させることで、PM生成を抑制した。

以上の取り組みに加えて燃料の噴射制御を最適化したことにより、P_{max}を抑制しつつ定格燃費を7%低減した(図5)。

4.2.2 ピストンの信頼性確保

ピストンの燃焼室で受けた爆発荷重は、ピン穴に配置されたピストンピンを介してコンロッドへ伝達される。4.2.1で述べたようにP_{max}を抑制したが、従来機よりもP_{max}は増加しており、従来機ではピストンの応力試験と単体試験の双方からピストンピンと接触するピンボス部の強度が不足していることがわかった。そこで、ピンボス部の形状をテーパ化することで受圧面積を増加し、ピンボス部の応力を低減した(図6)。これにより、ピストンの信頼性を確保した。

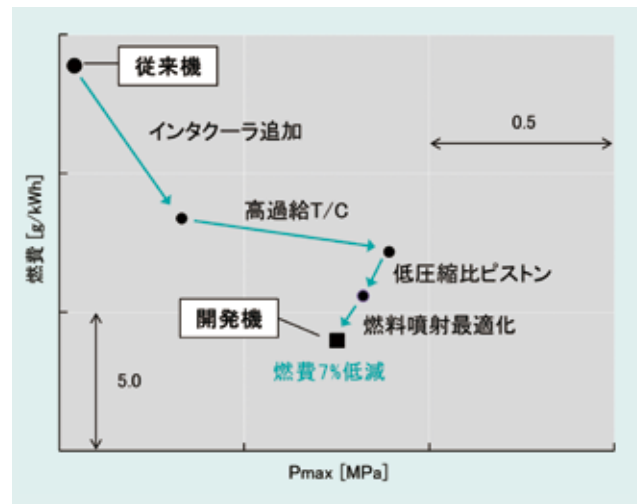


図5 P_{max}抑制と燃費改善
Fig. 5 Suppression of P_{max} and Improvement of Fuel Efficiency

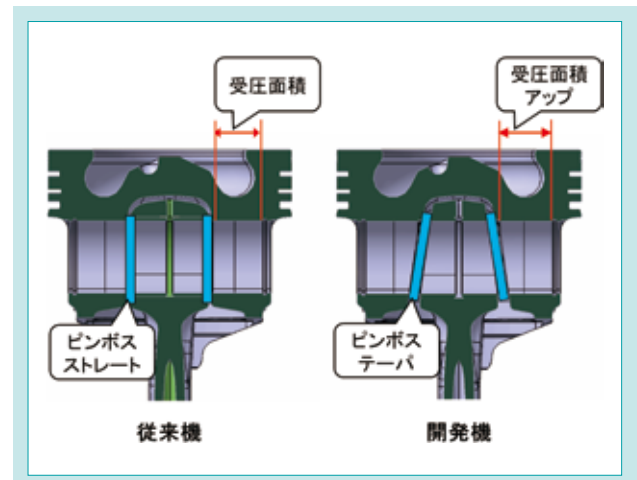


図6 ピンボス形状のテーパ化
Fig. 6 Tapered Pin Boss

4-3 軽負荷領域におけるDPF再生技術

軽負荷領域におけるDPF再生を成立させるためには、排気ガス温度を上昇させることが必要であり、一般的には吸気スロットルバルブ(図7)を調整することで吸入空気量を減少させることが効果的である。一方、この方法には吸入空気量不足により燃料が着火しない失火のリスクがある。そこで失火リスクを抑制しつつ、排気ガス温度を昇温する方法を検討した。

本開発では、燃料の噴射圧力を適正化した。DPF再生時には吸気スロットルを閉じたことによる吸入空気量低下が原因でシリンダ内の空気が低密度化し、スワール(シリンダ内中心軸まわりに生じる横渦)が低下する。この状態のシリンダ内に高圧噴射を行うと、噴射燃料の貫通力が通常運転時と比べ相対的に高くなり、シリンダや燃焼室壁面へ燃料が付着することで²⁾、不完全燃焼が生じ失火リスクが高くなる。そこで、DPF再生時の噴射圧力を適正化することで燃焼状態を良好にし、失火リスクを抑制した。また、排気ガス温度の上昇に効果的であるアフタ噴射を含む燃料の多段噴射制御を最適化することで排気ガス温度を昇温した。

以上の取り組みによる効果について述べる。図8はD1803-CR-TE5の再生成立領域と、軽負荷運転が多い搭載機器の代表的な運転領域を示している。ここで、負荷率とはエンジンの最大トルクに対する要求トルクの比率であり、搭載機器の負荷率は平均18%である。本開発機は軽負荷運転の多い搭載機器でもほぼ全ての運転領域でDPF再生が成立する。また、一旦DPF再生が成立すれば、一時的に再生不成立領域での運転が続いたとしても、DOCの温度は緩やかに低下するため、DPF再生状態を維持可能である。したがって、ほぼ全ての搭載機器でDPF再生によるダウンタイムをゼロにすることができた。

4-4 DPF 定期メンテナンスインターバル延長技術

DPF定期メンテナンスインターバルを延長するためには、DPFの容積を増加してアッシュの限界堆積量を増やす、若しくはオイル消費量を低減してアッシュの堆積量を低減する必要がある。一方、DPFの容積増加はエンジンサイズが大きくなるため搭載自由度を低下させると同時に、コストアップにもつながる。そこで、本開発機では、ピストンのオイルリングのオイル掻き落とし性改善に着目し、コストを抑えつつオイル消費量の低減を図った。新たに採用するオイルリングは、以下の式で表される追従性係数アップを狙った仕様を検討した。

$$K_p = \frac{3 \cdot F_t \cdot (d_1 - a_1)^2}{E \cdot h_1 \cdot a_1^3 \cdot k}$$

K_p : 追従性係数、 F_t : 張力(N)、 d_1 : 呼び径(mm)、

E : 弾性率(N/mm²)、 h_1 : 幅寸法(mm)、 a_1 : 厚さ寸法(mm)、

k : 断面係数比

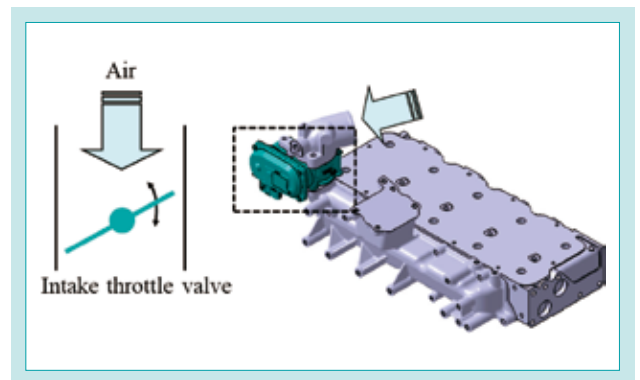


図7 吸気スロットルバルブ
Fig. 7 Intake Throttle Valve

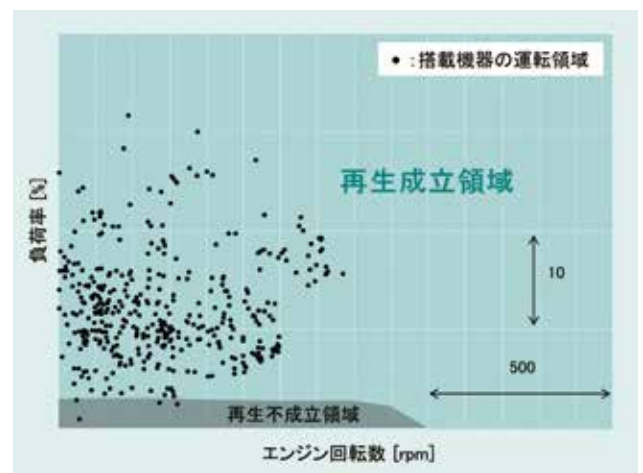


図8 軽負荷領域におけるDPF再生成立領域
Fig. 8 DPF Regeneration Area of Low-load Region

追従性係数とは、ピストンリングのシリンダ変形に対する静的な追従性を示す指標であり、追従性係数が大きいほどオイル消費量が少なくなることが分かっている³⁾。新仕様のオイルリングでは、幅寸法及び厚さ寸法を小さくしたことで、追従性係数を従来機から80%以上向上した。これにより、オイル消費量を38%、アッシュ堆積量を24%低減した(図9)。また、新仕様のオイルリングでは材料である線材の量が減少しているため、一気筒あたり24%のコストダウンを実現した。

以上の取り組みに加え、DPF内部のアッシュ堆積量を精度良く推定しオペレータに堆積状態を通知する機能を新たに追加したことで、DPF定期メンテナンスインターバルを従来機と比べ最大2倍まで延長した(図10)。

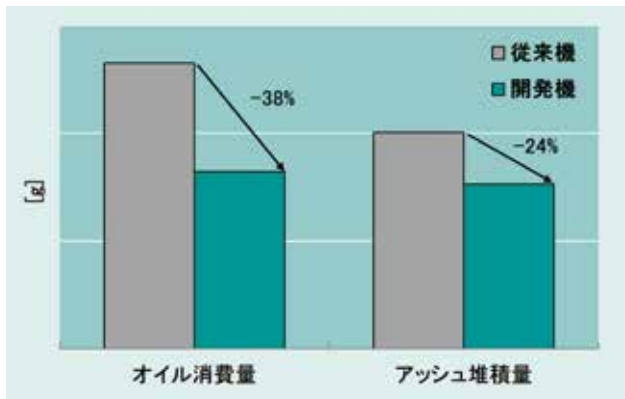


図9 オイル消費量とアッシュ堆積量の低減
Fig. 9 Reduction of Oil Consumption and Ash Deposits

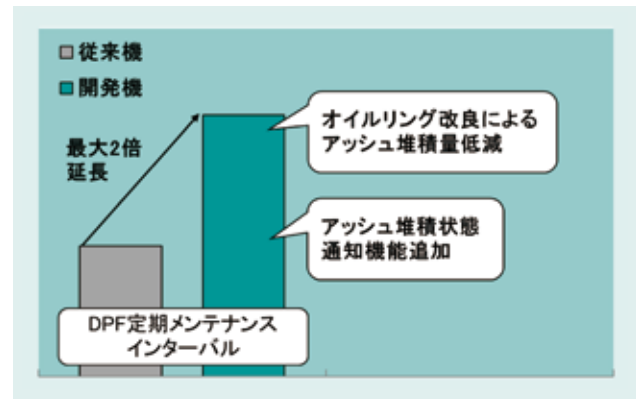


図10 DPF 定期メンテナンスインターバルの延長
Fig. 10 Extension of DPF Periodic Maintenance Time

5. おわりに

19 kW以上56 kW未満の出力帯において2019年から施行されたStageVIに適合する03・07・V3シリーズエンジンを開発した。また、従来機で得た市場要望に合致した性能向上を行い、搭載機器の製品力向上に貢献した。

(1) 搭載互換性を維持しつつ、同時に高出力化・耐久信頼性を高次元でバランスさせた高出力化仕様機種を新たに追加し、幅広いラインナップを実現した。

(2) 軽負荷領域におけるDPF再生を可能とし、また、DPF定期メンテナンスインターバルを延長したことにより、オペレータのダウンタイムを最小限に短縮した。

今後は、本開発で培った技術を他機種へ展開するとともに、低燃費・メンテナンス性の向上を更に追及したモデルを開発することでクボタエンジンの製品力を強化する。

SDGs のターゲットへの貢献

7.3 エネルギー効率の改善 従来機に比べ、燃費最大7%低減

13.2 気候変動対策に関する政策の策定 排出ガス規制が強化されたStageVIに対応

参考文献

- 1) 金尚奎、平林千典、難波真、宮崎正浩、大西毅、志茂大輔:「新型1.5L低圧縮比クリーンディーゼルエンジンの開発(第2報)」公益社団法人自動車技術会2015年春季大会学術講演会講演予稿集(2015)、pp.172-177
- 2) 稲垣和久ほか:「高分散噴霧と筒内低流動を利用した低エミッション高効率ディーゼル燃焼」
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/42/1/42_1_219/_pdf、(参照日 2020-10-6)
- 3) 「自動車用ピストンリング」編集委員会:「自動車工学シリーズ自動車用ピストンリング」、(1997)、pp.30、山海堂

粒子数規制対応触媒技術の開発

Development of Catalyst Technology for Particle Number Regulation

エンジン技術部

地球環境保全の観点から、ディーゼルエンジンには厳しい排出ガス規制が課されている。特に2019年施行の欧州の排出ガス規制(StageV)では、新規に「粒子数規制 (Particulate Number 規制、以下PN規制)」が課された。PN規制では、エンジン排気部に装備してススなどの粒子状物質 (Particulate Matter、以下PM)を捕集するディーゼル微粒子フィルタ(Diesel Particulate Filter、以下DPF)のさらなる高性能化が求められる。本開発では、PMの捕集性能及び燃焼性に関わるDPFの基材及び触媒をそれぞれ改良して組み合わせることで、エンジン性能及び搭載性を損なわずにPN規制を満たすDPFの開発に成功した。

【キーワード】

大気汚染改善、ディーゼルエンジン、PM2.5、粒子数(PN)規制、排出ガス処理デバイス、ディーゼル微粒子フィルタ(DPF)

In order to resolve the environmental problem of emissions in to the atmosphere, the emission regulations on harmful components in exhaust gas from diesel engines are being strengthened year by year. Especially, in the EU, particulate number (PN) regulations were implemented from StageV for non-road diesel engines. In order to comply with PN regulations, it is necessary to improve the diesel particulate filter (DPF) performance in collecting the particulate matter (PM) from diesel engines. In our development, we achieved compliance with the PN regulations by improving the substrate and the catalyst of the DPF which are related to the collecting performance and combustibility of PM, without any degradation in engine performance and mountability.

【Key Word】

Air Pollution Reduction, Diesel Engine, PM2.5, Particulate Number (PN) Regulation, Exhaust Gas Treatment System, Diesel Particulate Filter (DPF)

関連する SDGs



1. はじめに

ディーゼルエンジンは低燃費、高トルク、高耐久性を有することから、自動車産業のみならず、農耕機、建設機械、発電機等のさまざまな産業分野で広く利用されている。一方、地球環境の保全や健康の観点から、一酸化炭素(CO)や炭化水素(HC)、窒素酸化物(NOx)、PM等の排出ガス中の有害成分の排出規制が世界各国で施行されている。図1にディーゼルエンジン及び排出ガス処理システムの模式図及び写真を示す。特に先進国では、ディーゼル酸化触媒(Diesel Oxidation Catalyst、以下DOC)、DPFなどの排出ガス処理システムの搭載が必要不可欠となっている。

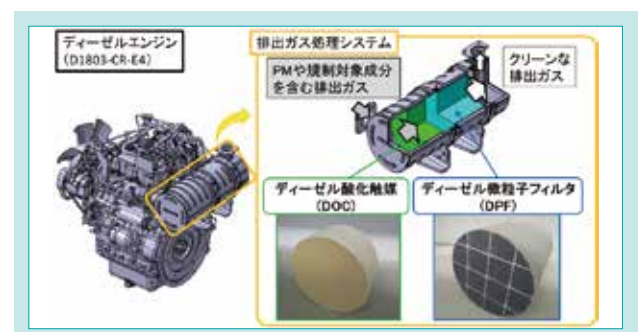


図 1 ディーゼルエンジンと排出ガス処理システム(エンジン : D1803-CR-E4)
Fig. 1 Diesel Engine, D1803-CR-E4 and Exhaust Gas Treatment System

次に、欧州における産業用ディーゼルエンジン向けの排出ガス規制の動向を表1に示す。環境・健康への関心が特に高い欧州では、2019年施行の排出ガス規制StageVにおいてPMエミッションを更に低減するために、従来の重量の規制(PM重量規制)の強化に加えて新たにPN規制が導入された。本規制は、欧州向けの19 kW以上の産業用ディーゼルエンジン全てに適用されており、PMエミッションのさらなる低減が求められている。本技報では、PN規制に向けたPMエミッションの低減技術を紹介する。

表 1 産業用ディーゼルエンジンの欧州排出ガス規制の動向
Table 1 Emission Regulations in Europe for Non-road Diesel Engines

| Power (kW) | Year | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| 8-19 | No regulation | | | | | | | | | | Stage V 7.5/0.4/ |
| 19-37 | Stage 3A 7.5/0.6/ | | | | | | | | | | Stage V 4.7/0.015/1x10 ¹² |
| 37-56 | Stage 3A 4.7/0.4/ | | | Stage 3B 4.7/0.025/ | | | Stage 4 4.7/0.015/1x10 ¹² | | | Stage V 4.7/0.015/1x10 ¹² | |
| 56-75 | Stage 3A 4.7/0.4/ | | Stage 3B 3.3/0.19/0.025/ | | Stage 4 0.4/0.19/0.025/ | | | Stage V 0.4/0.019/ 0.015/ 1x10 ¹² | | | |
| 75-130 | Stage 3A 4.0/0.3/ | | Stage 3B 2.0/0.19/0.025/ | | | Stage 4 0.4/0.19/0.025/ | | | Stage V 0.4/0.019/ 0.015/1x10 ¹² | | |
| 130-580 | Stage 3B 2.0/0.19/0.025/ | | Stage 4 0.4/0.19/0.025/ | | | Stage V 0.4/0.019/ 0.015/1x10 ¹² | | | | | |

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

PM重量規制では計測が難しい微細径のPMが健康被害をもたらすという報告がある¹⁾。そうした背景からPN規制は導入されており、より微細径のPMの排出を低減する必要がある。

ディーゼルエンジンは電子制御燃料噴射化することでPMエミッションの大幅な低減を実現したが、昨今の厳しいPM重量規制に対応するためには、加えてDPFを搭載する必要がある。図2にDPFの概略図を示す。DPFは交互に目封じされたセラミックス製多孔質フィルタ(DPF基材)に貴金属を主とした触媒が塗布されており、排出ガスがDPF壁を通過する際にPMを捕集する構造となっている。従来のDPFはPM重量規制には十分対応可能であるが、微細径のPMの排出を低減するには不十分であった。そのため本開発では、DPF諸元を改良することで微細径のPMの捕集性能が高いDPFの開発を目指した。

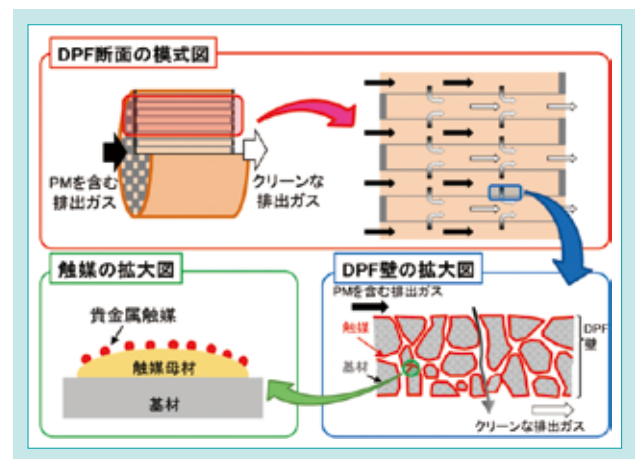


図 2 DPF の概要図

Fig. 2 Schematic Diagrams of a DPF

2-2 目標値

本機への搭載性及びエンジン性能に関わるDPF圧損とDPF再生性能を損なわずに、19 kW以上の欧州向けディーゼ

ルエンジン全機種において欧州排出ガス規制StageVのPN規制(1.0×10¹²個/kWh)を新規DPFが満たすことを目標とした。

3. 解決すべき技術課題 及び 解決指針

本開発における解決すべき技術課題と解決指針を述べる。

課題1：PM捕集性能とDPF圧損の両立

PM捕集性能を高効率化しつつ、エンジン性能及び搭載性を維持するために、PM捕集性能とDPF圧損を両立する技術を開発する。

課題2：触媒劣化

省資源化及び排出ガスエミッションの安定化の観点から、触媒の劣化を抑制し、触媒担持量を抑える技術を開発する。

4. 開発技術

4-1 PM 捕集性能と DPF 圧損を両立する技術 ～ DPF 基材の改良～

4.1.1 改良したDPF基材のPM捕集性能とDPF圧損

一般的にDPFにおけるPMの捕集性能はDPF基材の気孔径及び気孔率が小さいほど高くなるが、DPF圧損が高くなり、

燃費等のエンジン性能の低下を招く。一方、DPFサイズを大きくすることで圧損は下がるが、搭載性の悪化やコスト増加

を招く。そこで、小気孔化してPM捕集性能を高めると同時に、DPF壁を約18%薄壁化してDPF圧損の低減を試みた。図3にDPF基材の改良前後の模式図を、図4にPMを一定量捕集させた際のDPF基材改良前後のDPF圧損を示す。この結果から、小気孔化によってDPF圧損は10%増加したが、薄壁化により現状の仕様よりも3%低圧損化することに成功した。図5に現状のDPFと小気孔化及び薄壁化したDPF装着時の定常試験(Ramped Modal Cycle、以下RMC)でのPN計測結果を示す。PN排出量を小気孔化及び薄壁化によって75%低減した。

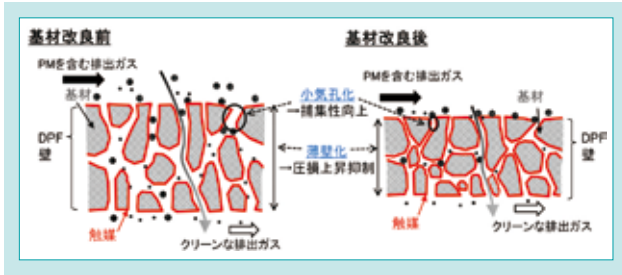


図3 DPF 基材の改良前と改良後の模式図

Fig. 3 Schematic Diagrams Before and After Improving the DPF Substrate

4.1.2 改良したDPF基材の耐久性

一方、薄壁化による懸念点として、DPF強度の低下が考えられる。DPF基材の破壊は、DPF内部の温度差による熱衝撃にて生じる。実使用の中で最も大きな熱衝撃は、DPF再生中や高負荷運転中からアイドリング状態になった際に排出ガス中の酸素濃度が急激に高くなり、DPFに堆積したススが瞬時に燃焼することで発生する。そこでこのような熱衝撃を模擬して、実使用条件で考えられるPMを堆積させたDPFを用いてDPF再生を行い、DPF内部のPMが燃焼を開始した直後に運転条件をアイドリングに切替えた際のDPF内部の最高温度を計測した。その結果を図6に示す。この結果から、小気孔化及び薄壁化したDPFのほうが割れや溶損が発生する温度に到達しにくい、つまり熱衝撃耐性が高いことがわかった。また、エンジン稼働条件でDPF基材が耐えるか確認するために、エンジンにて高負荷運転条件で長時間耐久試験を行った。耐久試験後のDPFのX線CT撮影の結果を図7に示す。CTから割れや溶損は見られなかったことから、長時間のエンジン稼働に十分耐えることが確認された。

以上より、PM捕集性能とDPF圧損を両立したDPF基材のエンジンへの搭載を実現した。

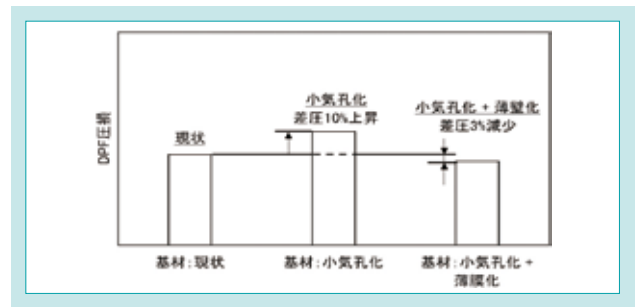


図4 DPF 基材の改良前と改良後の DPF 圧損計測結果

Fig. 4 DPF Differential Pressures Before and After Improving the DPF Substrate

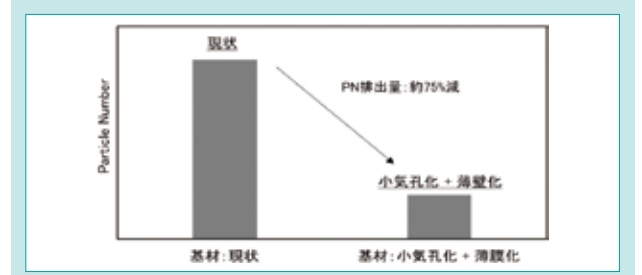


図5 DPF 基材の改良前と改良後の RMC 時の PN 計測結果

Fig. 5 PN over RMC Before and After Improving DPF Substrate

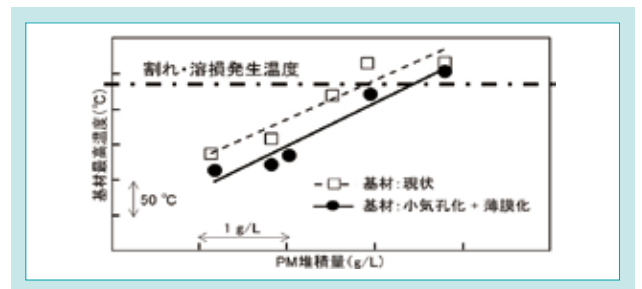


図6 熱衝撃試験計測結果

Fig. 6 Maximum Temperatures by the Thermal Shock Experiment

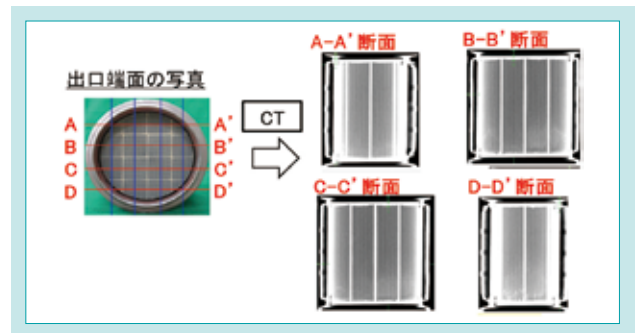


図7 耐久試験後のDPFのCT結果

Fig. 7 CT Images for the DPF After Diesel Engine Endurance Test

4 - 2 PM 捕集性能とDPF 圧損を両立する技術 ～ PM 捕集性能を向上させる新規触媒の開発～

4.2.1 DPFのPM捕集メカニズム

前述のとおり、気孔径及び気孔率を小さくし、壁厚を薄くすることでPM捕集性能の向上とDPF圧損の維持を両立できることがわかった。しかし、一部エンジンでは開発目標値をクリアできないことがわかった。PM捕集性能を向上させるためには

更に気孔径及び気孔率を小さくする必要があるが、DPF圧損が増加してしまうことは明らかである。DPF圧損を下げるために壁厚を更に薄くすることは耐久面から厳しく、DPFサイズを変更すると搭載性が悪化してしまうことから、DPF基材の改良

以外でPM捕集性能とDPF圧損を両立する技術の開発が必要であった。

図8にDPF再生からアイドリング後に定常運転を行った際のPN計測結果を示す。この結果を整理すると、まず、DPF再生後すなわちDPFにPMが堆積していない状況でのアイドリング時はコンスタントに少量のPNが漏れ出る。その後、負荷を有する定常運転に移行すると急激にPNが検出されたのちに徐々に減少し、ほとんど計測されない状況になることがわかった。DPFにおけるPMの捕集メカニズムについて、様々な研究がおこなわれている^{2) 3)}。これらの研究では、DPF内部へPMが堆積する深層ろ過を経てDPF基材表面に堆積する表層ろ過に移行し、かつ表層ろ過時は著しくPM捕集性能が向上

することが報告されている。こうした研究結果から、図8の負荷を有する定常運転で見られたPN (図8中のI)は、深層ろ過及び表層ろ過初期で見られるものと推察された。

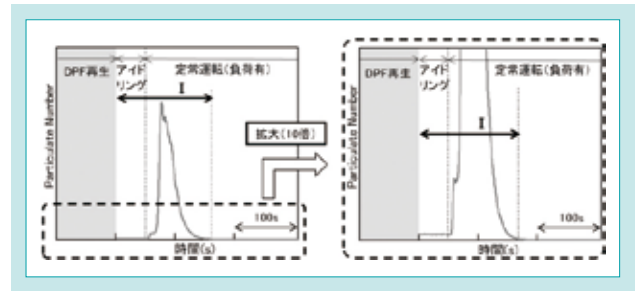


図 8 DPF 再生終了直後の PN 計測結果
Fig. 8 PN After the DPF Regeneration

4.2.2 PM捕集性能を向上させる新規触媒

以上の結果と考察から、表層ろ過へ速やかに移行する構造を考案した。従来のDPF(触媒改良前)と考案したDPF(触媒改良後)の模式図を図9に示す。これまでDPF壁に均一に塗布していた貴金属触媒及び触媒母材より構成される触媒を、DPF壁の表層に重点的に塗布する構造とした。これにより、DPF表面に触媒層を生成し、少量のPM堆積層で表層ろ過が実現できるように試みた。触媒改良前後のDPF断面について、それぞれ同位置で測定した電子線マイクロアナライザ(EPMA)及び走査型電子顕微鏡(SEM)の分析結果を図10に示す。EPMA画像の白色領域は貴金属触媒が存在していることを示しており、改良後のDPFは、改良前のDPFよりもDPF壁表面(図10のIN側)に多くの触媒を塗布されていることを確認した。

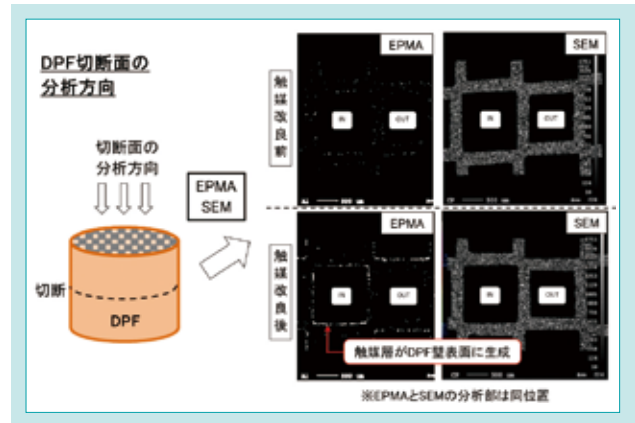


図 10 DPF 断面の改良前後の分析結果(左図：EPMA、右図：SEM)
Fig. 10 EPMA and SEM Images Before and After Improving the DPF Cross Section

次に、改良前後のDPFのDPF再生からアイドリング後に定常運転を行った際のPN計測結果を図11に示す。改良後のDPFのほうがPNのピーク量が少なく、かつPNが減少する時間が早いことがわかった。これは触媒層により少量のPM堆積層で表層ろ過が実現したためと推察される。また、図12にRMCによるPN計測結果とDPF圧損を示す。RMC時のPN排出量は約70%減じていることがわかった。また、DPF圧損についても、圧損の上昇を抑えることに成功した。これは、DPF壁表面の触媒層の生成、基材内部の触媒量が減じたためと推察される。

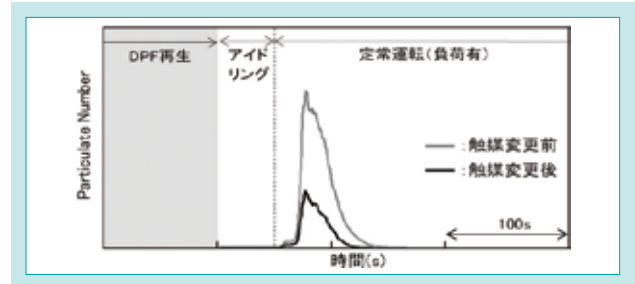


図 11 DPF 触媒の改良前後の DPF 再生終了直後の PN 計測結果
Fig. 11 PN after DPF Regeneration Before and After Improving the DPF Catalyst

以上より、DPF圧損の上昇を抑えつつPN排出量を大きく抑制できる触媒を実現した。

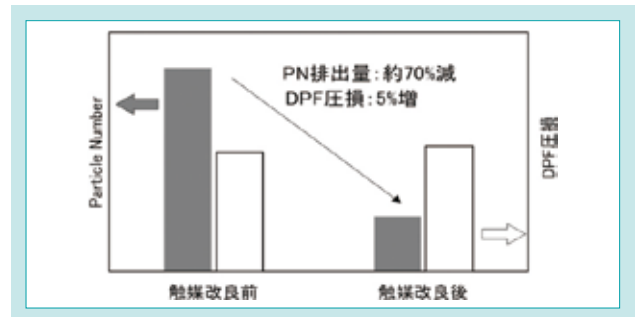


図 12 DPF 触媒改良前後の RMC 時の PN と DPF 圧損計測結果
Fig. 12 PN and DPF Differential Pressures over RMC Before and After Improving the DPF Catalyst

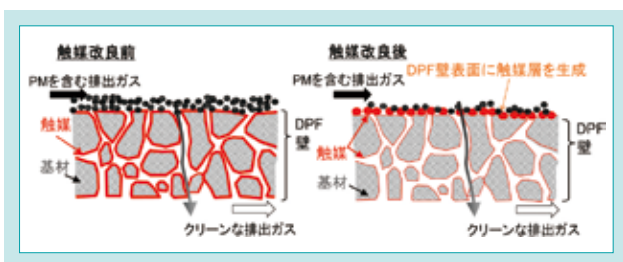


図 9 DPF 触媒の改良前後の模式図

Fig. 9 Schematic Diagrams Before and After Improving the DPF Catalyst

4 - 3 触媒劣化を抑制する技術

4.3.1 DPFにおけるエンジン稼働時間とPNの関係

図13にエンジンの運転時間とRMC時のPNの関係を示す。この結果から、運転時間が長いほど、PN排出量が下がる傾向にあることがわかった。これは、以下の要因によりDPFのPM捕集効率が向上しているためと推察される。

- ① エンジンオイルに含まれる金属成分(アッシュ)の堆積によりDPFが小気孔化する
- ② 触媒活性の低下によりPM燃焼性が低下し、PM堆積層の生成が促進される

運転初期においては、上記の逆の理由により、PNが多いことが課題となる。②の課題について考えると、DPFの触媒活性を下げる、つまり触媒を減らすことで改善される。しかし、DPFの触媒はPNだけでなくPMの連続燃焼やDPF再生、そして排出ガスエミッション全般に大きく関わっており、触媒による化学反応促進は必要不可欠である。一方で、それらのエミッション要

求を長時間担保するために触媒の劣化を見越して触媒種や量を決定しており、初期においては過剰な触媒活性を有する。

以上を踏まえて、PNを減らすためにそのほかの排出ガスのエミッション要求を満たす程度に初期の触媒活性を下げて、かつエンジン稼働下で長時間触媒活性を維持する技術を開発する必要があった。

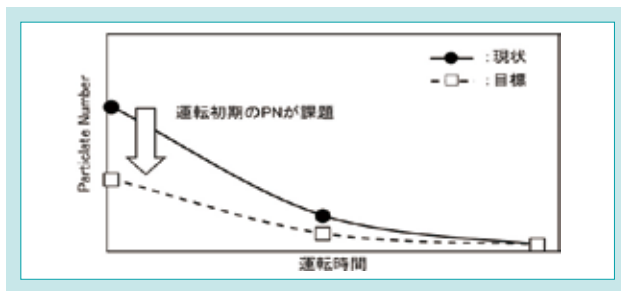


図 13 エンジンの稼働時間と RMC 時の PN の関係
Fig. 13 Operating Time for a Diesel Engine and PN over RMC

4.3.2 触媒の劣化メカニズム

DPFの触媒は、前述のとおり貴金属触媒及び触媒母材より構成され、主にDPFで捕集したススの燃焼促進とPM燃焼時に発生するHCやCOのCO₂への酸化促進の役割がある。これらの促進反応はDPF触媒の表面で起こることから、触媒の比表面積や触媒の粒径が性能の重要なファクタとなる。一方、触媒劣化はエンジン排出ガスによる熱やそれに含有する被毒物質により引き起こされることが一般的に知られている⁴⁾。図14にDPF触媒の熱劣化の模式図を示す。熱劣化、つまり熱による触媒性能の低下は、シタリングと呼ばれる

触媒の凝集による比表面積の減少と物性変化により引き起こされる。そのため、シタリングを抑制することで、触媒活性の低下を抑制できると考えられる。

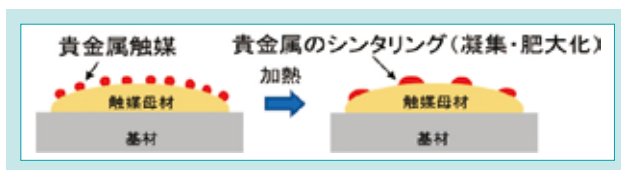


図 14 触媒の熱劣化の模式図
Fig. 14 Schematic Diagrams on Thermal Deterioration for DPF Catalyst

4.3.3 触媒の劣化抑制

白金(Pt)は高い触媒作用と安定性を有することから、DPF触媒の主成分としてこれまで利用してきた。このPtにパラジウム(Pd)を添加することで、触媒のシタリングを抑制し、触媒活性の低下を抑えることが報告されている⁵⁾。本報告を踏まえて、PtにPdを添加して触媒比を調整し、それぞれの750°C50hrで熱耐久後の比表面積を調べた。その結果を図15に示す。Pdを添加することで熱耐久後の触媒比表面積が増加する、つまり触媒のシタリングを抑制していることがわかった。また、それらの触媒の熱耐久前後のCO酸化活性を図16に示す。熱耐久前はPt量が多いほうが高い活性を示したが、熱耐久後はPdを添加したほうが高い活性を示した。これはPd添加によるシタリングの抑制が影響しているためと推察される。

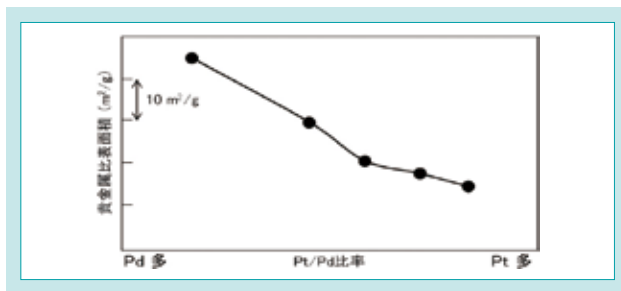


図 15 貴金属比表面積と Pt/Pd 比率の関係
Fig. 15 Surface Area for Noble Metal and Pt/Pd Ratio

以上を踏まえて、①Pdの添加量及び触媒調整条件の最適化による触媒劣化の抑制、②触媒の減量による初期触媒活性の最適化を行った。

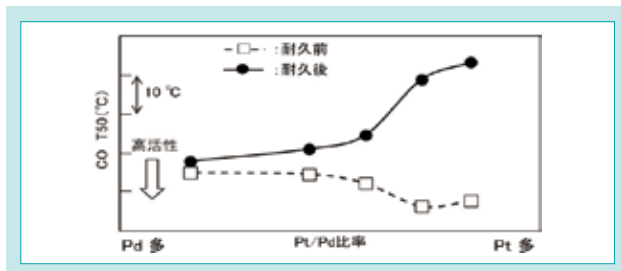


図 16 CO 酸化活性と Pt/Pd 比率の関係
Fig. 16 CO Oxidation Activity and Pt/Pd Ratio

触媒の変更前後のエンジン稼働初期、つまり触媒の劣化が進んでいないときのRMC時のPN計測結果を図17に示す。触媒変更後は変更前と比較して20%減ずることに成功した。一方、触媒諸元の変更により、①DPF再生時のPM除去率、②再生時のCO及びHCの酸化能の低下が懸念される。それぞれの評価結果を図18、図19に示す。図18に示すDPF再生によるPM除去率について熱耐久後の結果を見ると、触媒変更後は市場実績のある触媒変更前と比較して、ほぼ同等かつクボタ基準の要求レベルを満たす性能であった。また、図19に示す再生時のCO及びHCのエミッションについては、熱耐久前は触媒変更前が変更後と比較して排出量が少ないが、熱耐久後は逆転することがわかった。これは、触媒変更後は熱耐久が抑制されたためであると推察される。また、触媒変更後は熱耐久により排出量が減少傾向を示した。これは、熱耐久後はPM燃焼速度が鈍化してCO及びHCの瞬間的な濃度が低くなったため、酸化が促進されたと推察される。

以上より、触媒の劣化を抑制することで、高いDPF再生性能の長時間維持と貴金属の省資源化、PNを含む排出ガスエミッションの安定化に成功した。

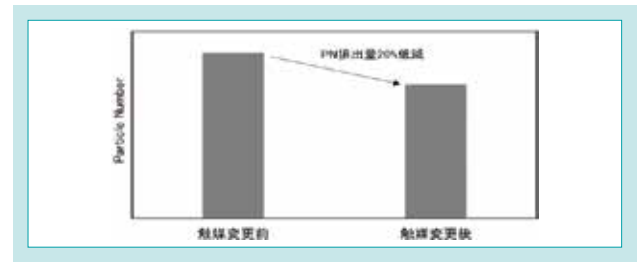


図 17 エンジン稼働初期の RMC 時の PN 計測結果
Fig. 17 PN Results over RMC Using Less Aged DPF

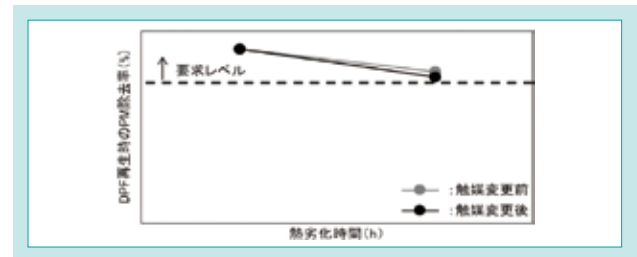


図 18 DPF 再生による PM 除去率
Fig. 18 PM Removal Ratio by DPF Regeneration

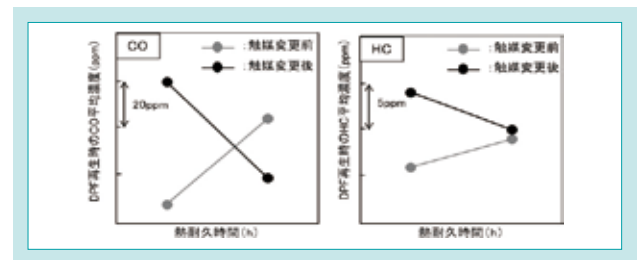


図 19 再生時の CO および HC のエミッション計測結果
Fig. 19 CO and HC Emissions During DPF Regeneration

5. おわりに

本開発ではDPF基材及びDPF触媒に関する上記3種の技術を開発して複合することにより、従来より高いPM捕集性能及び排出ガス浄化性能を有し、かつ省資源化したDPFを開発した。更に、開発したDPFを搭載することで19 kW以上の欧州向けディーゼルエンジン全機種においてPN規制を満たすことに成功し、地球環境の保全と欧州市場への拡販に貢献した。

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 健康被害をもたらす粒子状物質を大幅に削減
12.2 天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用 貴金属の省資源化を実現

参考文献

- Morawska, L. et al. Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure. Atmos. Environ. 2008, 42, 8113-8138
- 久保修一ほか. DPFにおける捕集メカニズム. 日本機械学会論文集. 2006, vol. 72, no. 721
- 鈴木大介ほか. Diesel Particulate Filter の捕集性能とカーボン粒子の堆積過程. 自動車技術会論文集. 2016, vol. 47, no. 8
- Calvin H. Bartholomew. Mechanism of catalyst deactivation. Applied Catalysis A. 2001, 212, 17-60
- Kaneeda M. et al. Improvement of thermal stability of NO oxidation Pt/Al₂O₃ catalyst by addition of Pd. Applied Catalysis B, 2009, 90(3-4), 564-569

北米向けCTL SVL65-2の開発

Development of the CTL SVL65-2 for North America

建設機械技術第二部 / Kubota North America Corp.

コンパクトトラックローダ(CTL)は、優れた不整地走破性と高い機動性、汎用性を特徴とし、多種多様なアタッチメント作業も可能な、主に北米市場において用いられる小型建設機械である。その市場は、近年も拡大を続けており、クボタも2010年にCTLを発売して以来、順調に販売台数を伸ばしている。今回、ラインナップ拡充のために、クボタCTL史上最軽量モデルとなるSVL65-2を開発した。このSVL65-2では、上位クラスの従来機であるSVL75-2の高い居住性を踏襲したまま大幅に車体質量を減らすことに加えて、SVL75-2を上回る作業機とAUX (3.1.2参照)の高い同時操作性を実現すべく、従来の油圧回路を進化させることで独自のAMV(Advanced Multifunction Valve)を開発した。

【キーワード】

CTL、質量低減、AMV

A compact track loader (CTL) is a compact construction machine that is used in the North American market. It has good running ability on rough terrain, high mobility and versatility. In addition, it can perform a wide variety of attachment tasks. In recent years, this market has continued to expand, and Kubota has also steadily expanded its sales volume since launching the CTL in 2010. This time, Kubota released the SVL65-2, the lightest in the Kubota range in order to expand CTL's product line. Its weight is significantly reduced while maintaining excellent habitability as good as that of SVL75-2, which is the current model in the upper class. Moreover, SVL65-2 can perform smooth simultaneous movements of loader arm, bucket, and AUX hydraulics because we developed a highly evolved hydraulic circuit and an advanced multifunction valve that are superior to those of the SVL75-2.

【Key Word】

Compact Track Loader, Weight Reduction, Advanced Multifunction Valve

関連する SDGs

| | | | |
|--|---|--|---|
| <p>9 産業と技術革新の基盤をつくろう</p>  | <p>11 住み続けられるまちづくりを</p>  | <p>16 平和と公正をすべての人に</p>  | <p>17 パートナリシップで目標を達成しよう</p>  |
|--|---|--|---|

1. はじめに

CTLは主に北米市場において活躍している小型の建設機械である(図1)。その特徴として、「一点旋回が可能であること」、「多種多様なアタッチメントが使用できること(図2)」及び「クローラ走行による不整地走破性が高いこと」等があり、建築・インフラ整備・農業等の多岐にわたる現場で土砂運搬・掘削・整地作業等の多用途で使用されている。

特に北米CTL市場は、CTLの汎用性の高さと旺盛な住宅建設需要を背景に現在も拡大を続けており、2014年から2018年の間で約80% 拡大している(図3)。

クボタは2010年、SVL75とSVL90を発売し、CTL市場に新規参入した。その後、市場ニーズと北米排出ガス4次規制に対応したモデルチェンジを経た現在、SVL75-2とSVL95-2Sを市場導入している。その結果、2018年度には2機種で北米CTL市場におけ

る台数シェアを、業界3位となる約16%(当社調べ)に伸ばした。今回、クボタはさらなるシェア獲得を目指しラインナップを拡充すべく、クボタCTL史上最軽量モデルとなるSVL65-2を開発した。



図 1 SVL65-2
Fig. 1 SVL65-2



図2 各種アタッチメント
Fig. 2 Example Attachments

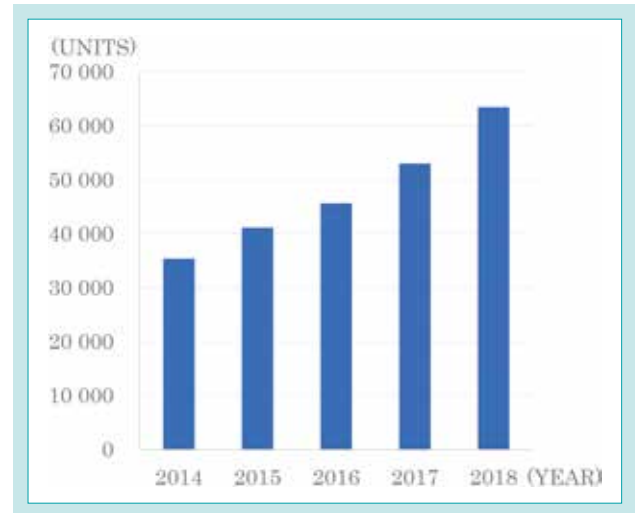


図3 米国のCTL市場¹⁾
Fig. 3 CTL Sales (in U.S.A.)

2. 開発のコンセプト

CTLの市場状況を示す(図4)。図4は、ROC(Rated Operating Capacities)と呼ばれる、車格と車重で決まる定格積載質量(安全に持ち上げることのできる質量)で北米CTL市場をクラス分けしたものである。

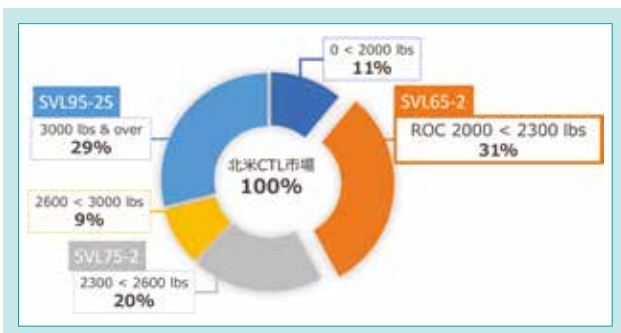


図4 北米CTL市場
Fig. 4 North American Market for CTL

CTL市場において、競合他社は多種のラインナップ(メーカーによっては10型式以上)を各クラス帯に分散配置し、幅広い製品市場をカバーしている。それに対しクボタは現在SVL75-2とSVL95-2Sの2型式のみで対応しており、2019年度で最大の市場であるROC 2000~2300 lbs (907~1043 kg)のクラス帯には、製品を提供できていない。そこで、北米におけるさらなるシェア獲得のために、このクラス帯に適合し、クボタCTLの強みを生かした製品を開発した。

次に、調査から判明したこのクラス帯に適合させるためのポイントについて述べる。一般にCTLはトレーラに搭載し、乗用車やトラックでそれを牽引することで目的地へ輸送する。米国で車体質量が大きな機械を輸送するためには、CDL (Commercial Driver's License) と呼ばれる運搬

用の特殊な免許が必要となる。この免許は取得後も定期的な更新が必要のため、それを敬遠するユーザが、特に2000~2300 lbs (907~1043 kg)の定格積載質量(ROC)を持つCTLを選ぶ傾向があることがわかった。そこで、クボタCTLの強みである居住性の良さを維持しつつ、その免許を必要としない車体質量の製品をユーザへ提供することを目指した。

一方、開発のベースとなる上位モデルのSVL75-2では、条件によっては油圧アクチュエータが同時に作動しない場合があった。これを最上位モデルであるSVL95-2Sでは、LSシステム²⁾を搭載することで、どのような条件でも油圧同時操作が可能になっている。一方、質量とコストがシビアな最軽量モデルのSVL65-2では、最上位モデルで採用したLSシステムではなく、単純・廉価な油圧システムで、LSシステム同様のスムーズな油圧同時操作を実現できるよう改善を試みた。以上を踏まえ、製品コンセプトを以下のように設定した。

<製品コンセプト>

- ① クボタCTLの強みである居住性の良さを継承し、運搬免許が不要な車体質量に抑えること
 - ② 低コストで、スムーズな油圧同時操作を実現すること
- なお本稿では、①のコンセプト実現で課題となった大物製品品の質量低減について、ポイントとなった考え方の例と、②の操作性の課題解決のために開発した技術 (AMV) について説明する。

3. 解決すべき技術課題と目標値

3-1 技術課題

3.1.1 質量低減について

今回目指すクラス帯において、運搬用の特殊な免許が不要となる質量は、法規上トレーラと製品を合わせて10 000 lbs (約4536 kg)以下である。ここからトレーラの質量を差し引いた値が、最大限CTL本体を運べる質量となる。今回の開発機のベース機はSVL75-2で車体質量は8874 lbs (約4025 kg)なので、トレーラと合わせると10000 lbs (約4536 kg)を超えるため、その超過分は質量低減する必要があった。

ただし、クボタCTLの強みである居住性の良さを生み出している広い運転席スペースと跳ね上げ式の前窓(図5)の2点については維持することにした。

3.1.2 油圧同時操作について

本稿での油圧同時操作とは、アームとバケットで構成される作業機とAUX(アタッチメントを動かす油圧源)を同時に操作する作業をあらわす。アームに取付けられているAUXカプラ(図6)にアタッチメントの油圧ホースを接続して使用する。アタッチメントの種類によって、必要となる流量は異なるため、手元のグリップのAUXスライダ(図7)の操作で流量が調節できるようになっている。



図6 AUXカプラ
Fig. 6 AUX Coupler

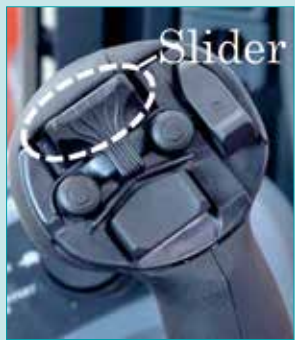


図7 AUXスライダ
Fig. 7 AUX Slider

これらを同時に操作する作業にはグラップルバケット作業がある(図8)。これは林業などで木材等をつかんで運ぶための作業で、アーム全体の角度はアームシリンダで



図5 跳ね上げ式の前窓
Fig. 5 Flip-up Door

操作(図8左下の青色の矢印)し、バケット全体の角度はバケットシリンダで操作(図8右上の緑色の矢印)し、爪部の開閉はAUXを用いたシリンダで操作(図8右上の黄色の矢印)する。一般的なシリーズ回路では、ある特定の操作で、アームとバケットとAUXを同時に操作できないため、例えば爪で木材を押えながらアームとバケットの角度をそれぞれ変えることができず、交互に操作するため作業時間のロスになる。また、アームやバケットの角度を変える際に、爪で木材を押え続けられないため、バケットの角度を動かした際に木材がずれて脱落してしまうこともあり、作業時間のロスが増える。このような作業時間のロスを減らすことが課題である。



図8 グラップルバケット作業
Fig. 8 Grapple Bucket

3-2 各課題に対する目標設定

① 質量低減

SVL75-2の強みと機能を維持し、運搬用の特殊免許が不要となる車体質量は7940 lbs (3601kg)以下で、SVL75-2比934 lbs (424kg) 低減すること。

② 油圧同時操作性の向上

作業機とAUXが、さまざまな条件で同時操作が可能であること。

4. 開発技術

4-1 質量低減手法

まず質量低減可能な部品を選定するうえでCTLを構成する機能部品と構造部品を考えた。機能部品は、エンジンや油圧機器といった基本的な機能を有し、部品自体は廃止できず、質量低減が困難な部品である。一方、構造部品はCTLのうち40%以上の質量割合を占め(表1)、部品の支持や保護する役割があるが、構成部品の配置や形状を最適化することで、質量低減できる可能性がある。

表1 構造部品の重量 (SVL75-2)
Table 1 Weight of Structural Parts(SVL75-2)

| | 質量 kg | 質量の割合 % |
|-----------|-------|---------|
| 大物構造部品の合計 | 1685 | 42 |
| 車体全体 | 4025 | 100 |

構造部品の軽量化のため、以下の3つのポイントでアプローチした。

- ・ 最適な部品形状(配置)にする。
- ・ 解析計算することで、強度の見込をつける。
- ・ 積載質量の低減で、支持構造を見直しする。

SVL75-2の開発過程では構造部品の強度を確保するため、補強部品を追加することが多々あった。今回の開発では、SVL75-2のそうした構造を全て洗い出し、追加部品をなくした状態で強度解析を行ったうえで、部品の最適化を実施した。一例として図9にヒッチ構造を示す。SVL75-2は複雑な青色の溶接構造のつなぎ部材であったが、開発機SVL65-2では配置を見直し、簡単な円筒状の最適形状に変更できた(図10)。このほかにも開発機SVL65-2では、大物構造部品の形状最適化を実施したことで、270 kg (595 lbs) の軽量化が達成できた(表2)。

また従来のSVL75-2の定格積載質量(ROC)は2300 lbs (約1043kg)であるのに対し、開発機SVL65-2の定格積載質量(ROC)を2100 lbs (約953kg)に変更したことで、構造部品への負荷が減ったことに加え、エンジン馬力を小さくすることができ、エンジン本体の質量を減らすことができた。そして最終的には、車体全体の質量が減ったことで図11に示すようなクローラやアイドルといった足回りの部品にかかる負荷が減り、それらの部品の質量も減らすことができた。

これらの対応を実施した結果、開発機SVL65-2の車体質量は7871 lbs (3601kg)となり目標の7940 lbs (SVL75-2比約930 lbs (422kg)低減)を超過達成できた。

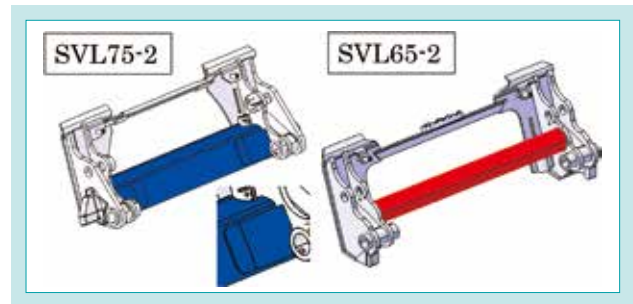


図9 ヒッチ
Fig. 9 Hitch

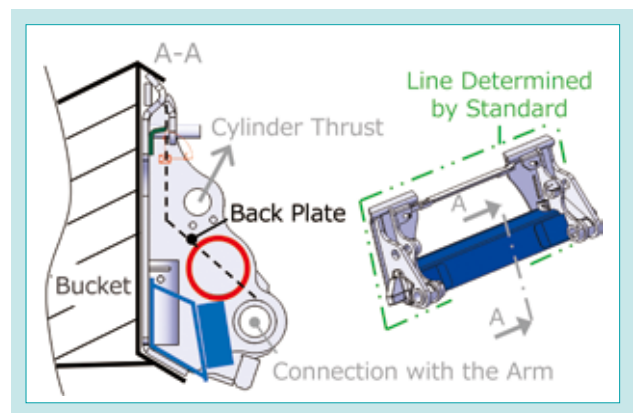


図10 ヒッチの構造
Fig. 10 Structure of Hitch

表2 構造部品の質量低減
Table 2 Weight Reduction of Structural Parts

| | | 低減した質量 kg |
|--------|-------|-----------|
| 大物構造部品 | フレーム | 130 |
| | アーム | 56 |
| | リンク | 29 |
| | ヒッチ | 20 |
| | ボンネット | 18 |
| | キャブ | 17 |

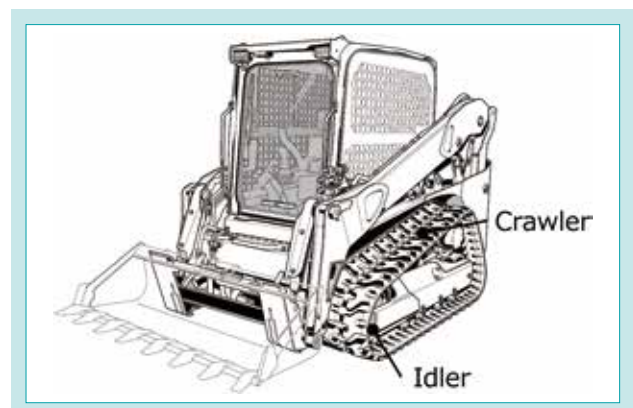


図11 足回りの部品
Fig. 11 Truck Parts

4-2 油圧同時操作性向上

目標②について、まず従来作業機とAUXが同時操作できなかったのは、従来機の油圧回路(図12)がシリーズ回路であることに起因する。

シリーズ回路とは図中の矢印のとおり、ポンプから出た作動油を一つ目のアクチュエータに送り、そのアクチュエータからの戻り油を次のアクチュエータに送る回路である。各アクチュエータは、操作に対して油の流れを切り替える役割をするスプール(油路を切り替えるために、溝が切られた棒)が動くことで作動する(図12破線部)。スプールが動くと、スピールの溝が移動し、作動油の流れる油路の大きさ(絞りの面積)が変わることで、スムーズな操作が可能になる。

このシリーズ回路を用いた方式の利点としては、複数のアクチュエータを並列で並べた時よりも比較的小さなポンプで機械を動かすことができる点が挙げられる。しかし、欠点として、今回の課題のように下流にあるアクチュエータ(図12のAUXのA部)での圧力が上昇すると、油に逃げ場がなく、その上流にあるアクチュエータのボトム側(バケットシリンダのB部)の圧力も上昇してしまうため、ロッド側(C部)に油を送っても面積差があるためシリンダを動かすことができなくなってしまう。また同様に、更に上流のアクチュエータ(アームシリンダ)も動かさなくなってしまう。

一方ある競合機の油圧回路(図13)をみると、AUXの作動油の供給はタンデム回路を採用している。

タンデム回路とは、ポンプから出た作動油を上流優先でアクチュエータへ送る回路である。図中の矢印のとおり、上流のアクチュエータ(図13のバケットシリンダ)が作動すると下流のアクチュエータ(図13のAUX)へ油が流れなくなる。この方式の利点としては、下流のアクチュエータで圧力が上昇しても、上流のアクチュエータが常に操作可能になることである。しかし欠点として、上流のアクチュエータが作動していると、下流のアクチュエータが操作できなくなってしまう。そこでSVL65-2では、シリーズ回路にタンデム回路を加えたハイブリッド回路とした(図14)。この回路では、スプールに新たな油路を追加することで、油圧バルブを増やすことなく、タンクへ戻す油の量を調整するタンデム回路の役割を実現した。

この場合、下流のアクチュエータ(図14のAUXのA部)での圧力が上昇しても、追加したタンデム回路(B)から作動油を油圧タンクへ戻すことで、中流のアクチュエータ(バケットシリンダ)の操作が可能になる。また同様に、中流のアクチュエータで圧力が上昇しても、最上流のアクチュエータ(アームシリンダ)の操作が可能になる。

しかし、別の操作で新たな課題が発生した(図15)。

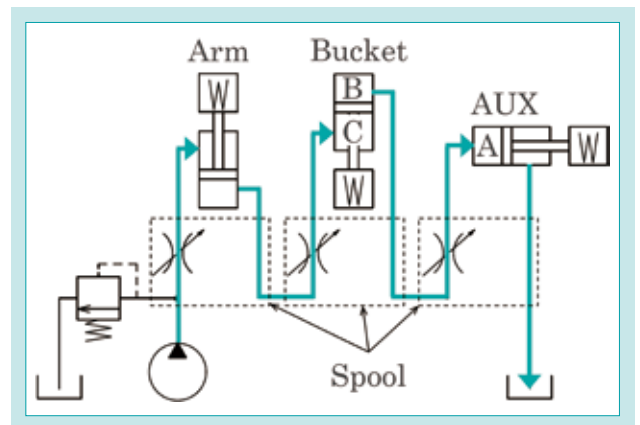


図 12 油圧回路図(従来機)

Fig. 12 Hydraulic Circuit (Conventional Product)

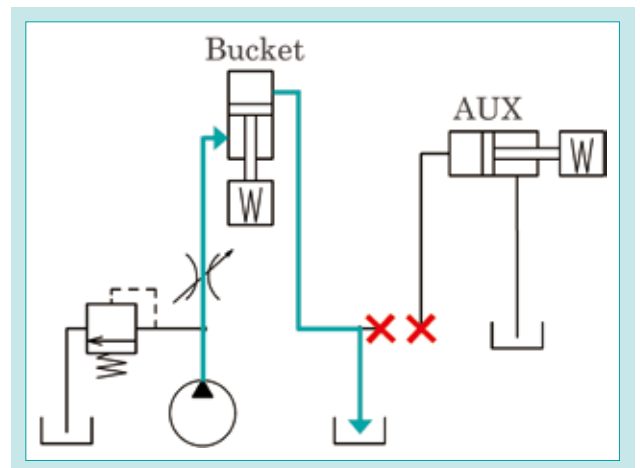


図 13 油圧回路図 2(他社機)

Fig. 13 Hydraulic Circuit 2(Competition)

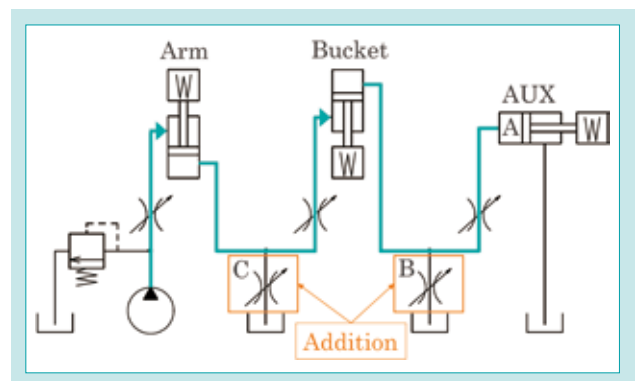


図 14 油圧回路図 3(ハイブリッド)

Fig. 14 Hydraulic Circuit 3(Hybrid)

この操作は、アクチュエータ2つ(アームとバケット)の動かす方向が図14と逆である。ここで、中流のアクチュエータ(図15のバケットシリンダ)に送る油の量が不足したことなどから、中流のアクチュエータが動くスピードが遅くなる課題が発生した。その原因は、まず追加したタンデム回路(D)である。最下流のアクチュエータ(AUX)に負荷がかかり、そのボトム側(A部)での圧力が上昇すると、中流のアクチュエータのロッド側(C部)での圧力も上昇し、中流のアクチュエータが作動するときの抵抗が増える。この状態で、中流のアクチュエータのボトム側(B部)へ油を送ると、その抵抗で回路内の圧力が上昇し、タンデム回路(D)から油圧タンクへ漏れる油の量が増え、その分、中流のアクチュエータを動かす油の量が減ってしまう。一方、最上流のアクチュエータ(アームシリンダ)を伸ばす方向に動かすとき、そのボトム側(F部)よりもロッド側(E部)の方の面積が小さいため、中流のアクチュエータへ送る油の量が減ってしまう。他方、中流のアクチュエータは、ボトム側の容積が大きく、作動するのに大きな流量を必要とする。これらの複合的な要因で、今回の課題が発生した。そして、この課題を解決するため、中流のアクチュエータのロッド側からボトム側へ作動油を戻す再生回路を追加した(図16)。

再生回路とは、アクチュエータからの戻り油をもう一度ポンプからの供給油へ合流させる回路のことで、アクチュエータの供給側の作動油の流量を増やすことで、シリンダの速度を増速させる機能がある。これにより、最下流のアクチュエータ(AUX)での圧力が上昇した状態でも、中流のアクチュエータ(バケットシリンダ)の速度を低下させることなく、操作することが可能になった。なお本技術は、日米にて各2件の特許を取得している。

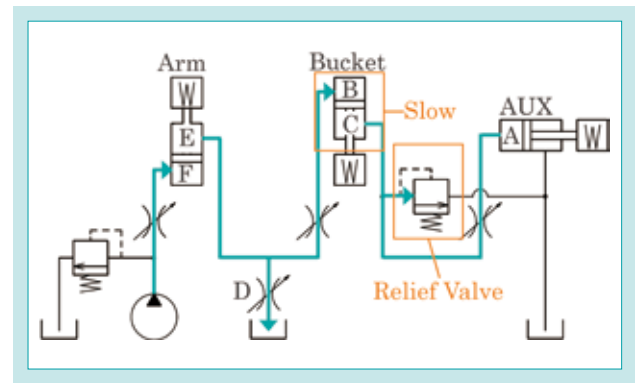


図 15 油圧回路図 4(新たな課題)
Fig. 15 Hydraulic Circuit 4(The New Challenge)

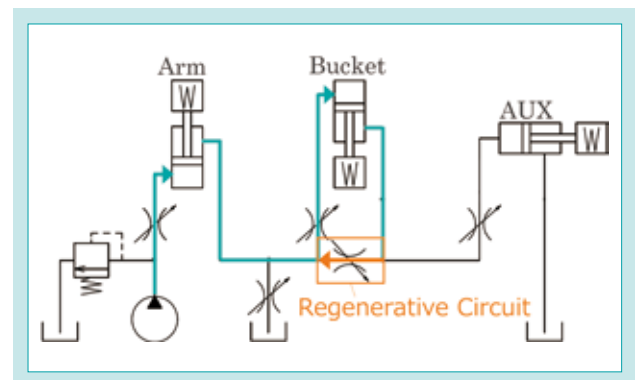


図 16 油圧回路図 5(AMV)
Fig. 16 Hydraulic Circuit 5(AMV)

5. おわりに

SVL65-2は強度解析の効率的な活用と、AMV導入により当初のコンセプトを実現した。これにより、2000~2300 lbs (907~1043 kg)のクラス帯の機械を検討していたユーザに対し、従来機より小型でありながら、操作性が向上した新たな機械を選択肢として提案することができた。SVL65-2は市場で高い評価をいただ

き、好調に売上げを伸ばしている。なお、2020年8月現在の台数シェア(3機種)は約20%(当社調べ)まで上昇している。

今後は、本開発で採用した質量低減手法と油圧技術を他機種へ横展開するとともに、新たな価値創造へ向けた研究開発を推進し、産業の活性化に貢献する所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

9.2 包括的かつ持続可能な産業基盤の強化 運搬が容易な機械を提供し、産業の発展に貢献

11.3 包括的かつ持続可能な居住計画・管理能力の強化 低コストで油圧同時操作を実現し、北米のインフラ整備に貢献

参考文献

- 1) YENGST ASSOCIATES (2019)
- 2) クボタ技報第51号『北米向けCTL SVL95-2Sの開発』(2017)

Development of Stand-On Type Mini Compact Track Loader SCL1000

小型立乗りコンパクトトラックローダ SCL1000 の開発

Great Plains Manufacturing, LP Engineering

The SCL 1000 is Kubota's entry into the growing market of Compact Utility Loaders (CUL). A CUL, also known as a stand-on skid steer, is a power unit that has the ability to work in tighter spaces than a traditional skid steer or compact track loader. In North America, the CUL market is growing rapidly for both commercial and rental applications, replacing traditional skid steers on some job sites. This market is new for Kubota and the natural desire to exceed the features of competitor machines led to several technical challenges. The key features that add value to Kubota's SCL 1000 are wide tracks on a narrow frame, a 25 Hp turbo-charged engine, light machine with high ROC (rated operating capacity) and vertical lift plus operator features such as comfort and control logic.

【Keyword】

Compact Utility Loaders, Stand-on Skid Steer, Wide Tracks, High ROC

クボタは、成長を続ける小型ユーティリティローダ(CUL)市場に参入するSCL1000を開発しました。スタンドオンスキッドステアとも呼ばれるCULは、従来のスキッドステアローダやコンパクトトラックローダより狭いスペースでの作業が可能なパワーユニットです。北米では、商業用とレンタル用の両方の用途でCUL市場が急成長しており、いくつかの現場で従来のスキッドステアローダにとって代わっています。この市場はクボタにとって新しい市場であり、競合他社機を超えるためのいくつかの技術課題もありました。クボタのSCL1000は、ナローフレームにワイドトラックを備えること、25馬力ターボエンジン、軽量で高ROC、快適で操作性に優れていることなどが特長です。

【キーワード】

小型ユーティリティローダ、スタンドオンスキッドステア、ワイドトラック、高ROC

Related SDGs



1. Introduction

The compact utility loader (CUL) machine is basically a small, stand-on compact track loader. The need for these small machines to perform landscaping and small construction projects in residential neighborhoods, or even commercial areas, continues to increase. The appeal of the CULs is their relative ease of use and their expanding line of attachments to enhance their versatility.

Kubota's entry in the CUL market is the SCL 1000,

which features a 25 Hp engine and 1,000 pound rated operating capacity. This is a unique machine developed by USA engineers for the North American market. Designing, sourcing, manufacturing and selling the SCL 1000 in the same market area saves wasteful shipping.

Some initial environmentally friendly and technically challenging features designed into the SCL 1000 include:

(1) wide tracks on a narrow machine for minimal turf damage;

- (2) incorporating a turbo charged engine for low noise;
- (3) a light machine with high operating capacity for low fuel consumption and
- (4) operator comfort to minimize operator fatigue.



Fig. 1 Appearance of SCL1000
図1 SCL1000の外観

Table 1 Specifications of the SCL1000
表1 SCL1000の仕様

| Main Specifications | Unit | Value |
|--------------------------|------|-------|
| Rated Operating Capacity | lbf | 1000 |
| Machine Weight | lbf | 3050 |
| Overall Width | in | 35.8 |
| Overall Length | in | 108 |
| Overall Height | in | 55 |
| Gross Engine Horsepower | hp | 24.8 |
| Track Width | in | 9.8 |
| Ground Pressure | psi | 4 |
| Ground Pressure | in | 108 |

2. R&D Concept and Target Value

2-1 R&D Concept

Although the SCL 1000 has many innovative and market leading features. This article focuses on four key concepts that contribute positively to the environment.

- (1) Reduce damage to turf in residential yards.

A common use for CUL machines is to drive through a narrow gate, enter into the back yard of a residence and do work. Damaging the turf while working with a CUL requires additional work to reshape and or re-plant the turf. The concept is to design a narrow machine with wide tracks to minimize ground pressure and reduce damage to the turf.

- (2) Reduce engine noise and vibration felt by the operator.

Through our customer surveys, we learned the operators complained about the loud engine

noise and vibration endured when operating the competitive machines for many hours. The concept is to satisfy the customer with a machine that operates quieter and smoother when compared to the competition.

- (3) Optimize the balance between maximum rated operating capacity and low overall weight.

The objective for this concept is to get the highest lifting capacity out of a machine with 25 Hp engine yet keep the machine light to reduce fuel consumption.

- (4) Minimize operator fatigue.

Typical construction and landscaping jobs are toilsome work for the operator. To make the operator's job more enjoyable, the machine needs intuitive and ergonomic controls that allow the operator to work safely and efficiently.

2-2 Target Value

- (1) We measured many gates in residential areas and found the smallest gates to be 36" wide. We set our goal to have a machine width of less than 36" allowing our machine to drive through these gates. We set the track width at 10" each to achieve the lowest possible ground pressure.
- (2) We checked competitive machines and found all competitors have noise levels near the operator at or above 92 Db. We set our goal to be less

than 90 Db. To achieve this goal we used a turbo-charged engine that will provide 25 Hp at a lower engine speed. With lower engine speed, we can achieve less noise and reduced vibration.

- (3) The target early on for this goal was to have the machine rated at 1,000 pounds or more. The heavier the machine, the easier it is to achieve high rated operating capacity. But heavy machines consume more fuel. We had a target

to keep the machine weight at or below 3100 pounds.

- (4) We evaluated larger machines, and asked customers what they prefer for controls. Many suggested integrating auxiliary controls in the

loader joystick to keep hands on the controls at all times and move around less. A multifunction joystick became the design goal for reducing operator fatigue.

3. Technical Challenge to be Solved

To meet the marketplace demands of this new machine and fit into our market “niche”, we identified the following design hurdles:

- (1) Optimize layout with challenging width constraints.
Creative solutions and multiple layout iterations were necessary to meet the width constraints.

- (2) Maintain performance with turbo engine and prevent excessive stalling.
(3) Meet ROC target and minimize weight.
With the low weight target, loader arm lift geometries were critical to meet the ROC target.
(4) Developing easy-to-use auxiliary controls

4. Developed Technology

4-1 Address Space Limitation Problems

4.1.1 Solve Design Challenges Related to Narrow Width

We encountered three major challenges where space was limited due to the narrow width and the wide tracks:

- 1) Areas between the two tracks were extremely restrictive, and if conventional frame designs were used, it would be impossible to fit an engine in the machine.

- 2) The short distance between the two drive motors limited engine placement options.
3) The oil filter limited engine placement variability.

4.1.2 Narrow Width Design Solutions

To be able to fit an engine in the machine, we designed a T-shaped frame. The design allowed the wide tracks to be housed in exterior “track wells”, and provided room for the wider upper portion of the engine.

The next challenge was to fit the flywheel housing between the two drive motors. We could find no other solution to this problem besides drastically offsetting the sprocket from its mounting shaft. A tapered or conical sprocket shape allowed us to pull the drive motors towards the outside of the machine as much as possible, while still maintaining clearance for the drive motor hoses and track lugs.

Lastly, we needed to place the engine oil filter in a location to keep the engine low and as far forward as possible, but still maintain serviceability. We placed the engine to where the filter was right behind the track well, and included an access panel for easy service.

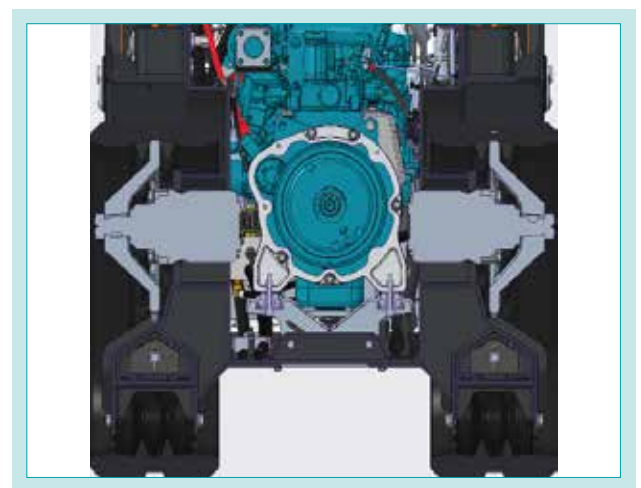


Fig. 2 Drive Sprockets and Motors

図 2 駆動スプロケットとモータ

4-2 Powertrain Design for Turbo Engine

4.2.1 Maintain Performance with Turbo Engine and Prevent Excessive Stalling

Lower engine speed is good for reduced engine noise and vibration, but lower engine speed creates another challenge. The lower speed of the turbo engine with a conventional engine flywheel would

produce less rotational momentum. Less rotational momentum will lead to more engine stalls while performing demanding work.

4.2.2 Increase Rotational Mass and Limit Power Demand

The first countermeasure was to increase the rotational momentum by increasing the rotational inertia of the flywheel offsetting the negative effects of the speed reduction. With the machine already being compact with no room, the small space needed to be used efficiently.

The second countermeasure was to reduce parasitic losses in the hydraulic system by following plumbing best practices. The design team collaborated with a hose routing expert, and utilized their experience to optimize hose routings and hydraulic system design. Figure 3 shows the hose routings designed near the operator's station.

We also focused on controllability of the machine. All other machines in this class used a direct lever-type control valve for the loader, but the Kubota machine used all hydraulic pilot controls.

Pilot operated drive and loader control joysticks gave the customer excellent controllability and response with feedback, which leads to fewer engine stalls and improved operator satisfaction.



Fig. 3 Hydraulic Hose Routings
図3 油圧ホース配策

4-3 Meet the ROC Target and Limit Weight

4.3.1 Balancing ROC and Machine Weight

The challenge for meeting a high ROC target is difficult when weight limitations are on a machine.

Care must be taken to optimize the machines center of gravity and loader travel path.

4.3.2 Calculate Center of Gravity and Design Vertical Lift Path

Using our modeling software, we calculated the center of gravity of our machine and confirmed it with a prototype. We based our loader design on Kubota's popular and proven CTL loader arms. We used our modeling software's mechanism analysis package to determine the optimum pin locations on the CUL's loader arms. Loader measurements, shown in figure 5 including lift height (Q), bucket reach at the top of the path (H), breakout force, and bucket position were all weighed against one another. To achieve the target ROC, the bucket position had to be considered the priority.

ROC from ISO 14397 is defined by the equation below:

ROC (Rated Operating Capacity) = 0.35 * Tipping Load

Tipping Load: The load at the centroid of the bucket with the loader at maximum reach at which the machine tips. This spec strongly correlates with the bucket pivot pin position, which is mapped in the figure and approximated by the equation $y = 4.64e^{(0.34x)}$.

Many iterations were made to get the optimum loader performance, but the goal was realized with a 1000lb ROC, best-in-class reach (H), and best-in-class lift height(Q).

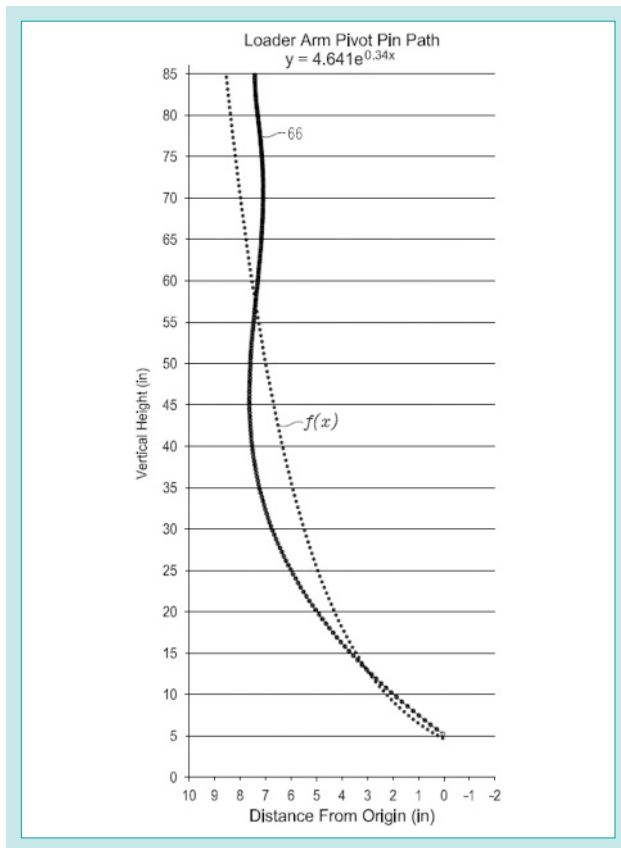


Fig. 4 Pivot Pin Path

図4 ピボットピンの位置とローダ持上げ高さの関係

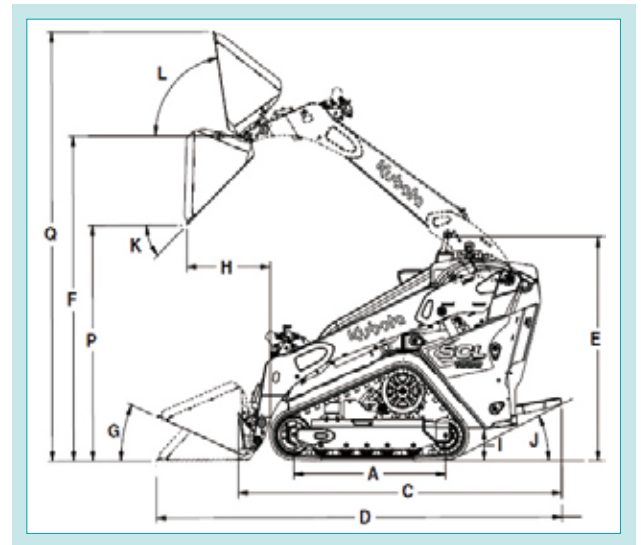


Fig. 5 Loader Dimensions

図5 ローダの寸法関係

4-4 Developing Easy-to-use Auxiliary Controls

4.4.1 Technical Challenge

At the time, a multifunction joystick with integrated auxiliary controls would be a unique new feature in the stand-on compact loader market. This type of auxiliary control required an electrical interface between it and the hydraulic valve solenoids controlling the auxiliary flow. In a very compact machine, that electrical system must be as simple, serviceable, and compact as possible.

Auxiliary controls must allow the operator to momentarily or continuously actuate an attachment in forward or reverse. These controls must be easy to learn to accommodate frequent new operators. The capabilities for the auxiliary controls must be as follows:

- For momentary control, output hydraulic flow from the auxiliary coupler proportional to the user input from the auxiliary control.

- For continuous control (also known as auxiliary hold), either lock the output hydraulic flow to the auxiliary coupler in its current state or hold at maximum flow.
- For either momentary or continuous control, be able to stop or reverse flow immediately.

A mechanical valve lever would make this quite simple, but a multifunction joystick demands more complexity. Using only basic components for a simple electrical system, integrating the logic for the auxiliary controls would require multiple relays and switches. In a compact unit, there would not be enough space for the bulk of multiple relays near the control panel.

4.4.2 Solution of Challenge

A chip or integrated circuit (IC) is very small with programmable logic suitable for low current applications. With only a few wires and potentially two relays, depending on the current ratings of the IC, the whole electrical interface between the multifunction joystick and the hydraulic valves could be a cost-effective system contained within a compact space less than 10 cu. in.

Further analysis of the demands of the remaining electrical components of the stand-on compact loader revealed that an I/O module would be the most efficient use of cost, space, and reliability. An I/O module would centralize all the sensor and output signals. It would provide a programmable logic platform to handle everything from engine startup controls to the multifunction joystick auxiliary controls.

Another goal of the electrical system was to present runtime information to the operator. Traditionally this is done with indicator lights and gauges in an instrument cluster. An instrument cluster would occupy a large area on the control panel and the space behind.

Instead, a display could present the runtime

information, consolidate the auxiliary controls logic, all the sensors, engine controls, and other I/O into a single, compact device. The SCL1000 features a solid state I/O expansion module and a color display. The display consists of a 4.3in. color LCD screen, 5 tactile buttons, and overall dimensions of only 4.66x4.98x2.06in. including the connector. The I/O module mounts flat and slim against the sidewall of the frame away from the control panel providing plenty of I/O for the machine.

The auxiliary control buttons on the multifunction joystick input to the display, the display communicates with the I/O module via CAN, and the I/O module sends PWM outputs to the auxiliary valve solenoids according to the programmed logic following the simple initial momentary and continuous control requirements. The additional benefit of consolidating all other machine controls into these two devices are the ability to modify for continuous improvement with simple software updates. This completes the interface between an easy-to-learn, low-fatigue multifunction joystick and the auxiliary valves for controlling hydraulic flow to the attachment in a compact form.

5. Conclusion

We successfully developed, tested and sourced components for the SCL 1000 in North America for the North American market. Introduction this new Kubota CUL at the 2019 Kubota National Dealer Meeting in Grapevine, Texas resulted in much excitement from Dealers. The SCL 1000 achieves the design targets and customer expectations learned during market surveys. The narrow width and wide tracks are innovative and

sure to spare damage to yards. Using the turbo charged engine reduces noise and vibration providing the operator comfortable conditions. Optimizing the balance between maximum operating capacity and minimum weight will reduce fuel consumption. Integrating auxiliary controls in a multifunction loader joystick reduces operator fatigue and increases productivity.

Contribution to SDG Targets

- | | | |
|------|---|---|
| 8.2 | Improvement in productivity through innovation | Developed a small machine for both tight maneuverability with low weight, low ground pressure, fast travel and loader cycle times, and high lift capacity for its size. |
| 11.6 | Reduce environmental impact | Improved work efficiency in residential areas and reduce turf damage. |
| 12.2 | Management and efficient use of natural resources | Powered by less than 25HP Tier IV diesel running at lower engine speed for low fuel consumption. |

塗膜の耐候性評価技術の開発（促進性と相関性の検討）

Development of Weathering Evaluation Technology

マテリアルセンター 樹脂材料グループ

近年、農機・建機のユーザーにとって、製品の作業性能に加えて、外観品質も購入時の重要な評価ポイントになりつつある。その中で塗装の耐候性能は、外観品質の重要因子である。長く使用される製品の外観が劣化しないようにするためには、塗料種や塗装系を検討するとともに、耐久性(耐候性)を正しく評価することも重要である。しかし、実曝試験では時間が掛かり過ぎることから、実曝試験と相関性の高い促進試験を行う必要がある。今回、キセノン試験装置を用いて試験条件を検討することで、クボタ独自の促進試験条件を決定した。

【キーワード】

塗装、外観品質、耐候性、実曝試験、促進試験

In recent years, in addition to a product's work performance, a quality appearance is becoming an important evaluation point for users of both agricultural and construction machinery. Among them, the weather resistance of the coating is the most important factor for retaining a quality appearance. In order to prevent deterioration of the appearance of products that are used over an extended period of time, it is important to examine the types of coating, and the coating systems, and furthermore to evaluate the durability (weatherability) correctly. However, since a long-term outdoor exposure test takes too much time, it is necessary to perform an accelerated test that is highly correlated with outdoor exposure. This time, we have defined a unique KUBOTA accelerated test method by examining the test conditions using a xenon accelerated testing apparatus.

【Key Word】

Coatings, Appearance Quality, Weatherability, Outdoor Exposure, Accelerated Test

関連する SDGs



1. はじめに

かつての産業機械は、作業性能が第一義的に重視されており、外観品質である変色や発錆などは軽視されがちであった。しかし、時代とともにその重要性が増してきており、初期の外観品質だけではなく、経時での耐久性を維持することも重要なポイントとなっている。特に、外観品質に大きく関わる塗装では、使われる塗料種や塗装系の検討とともに、確実に迅速な評価技術による経時の耐久性(耐候性)の把握が重要である。一般の耐候性評価では、屋外での実曝試験を行うが、昨今の塗料の進

歩や、製品開発のスピードアップを考慮すると、実曝試験で耐候寿命を予測するには、時間が掛かり過ぎる。そのため、実曝試験と相関性の高い促進試験を行う必要がある。促進試験法は、種々の方式が提案されており、それぞれの特徴がある。

今回、ISO規格やJIS規格より高い促進性と相関性を目指して、キセノン試験装置を用いて水の負荷率、塗板(槽内)の温度などの試験条件を検討することで¹⁾クボタ独自の促進耐候性試験条件を決定した。

2. 技術の説明

2-1 開発のコンセプト

キセノン装置は、太陽光の波長分布と相似しているため、相関性の点で期待できるが、ISO規格やJIS規格のキセノン標準試験条件では、促進性の点で十分ではない。宮古島とアリゾナのエナメル系ウレタン樹脂塗膜の実曝結果から、促進性は、4大劣化因子1)光、2)水、3)温度、4)酸素のうち、特に、水(雨)の影響が大きいことが示唆された(図1)。

(アリゾナは宮古島より日射量が多いが、雨が少ない砂漠気候)

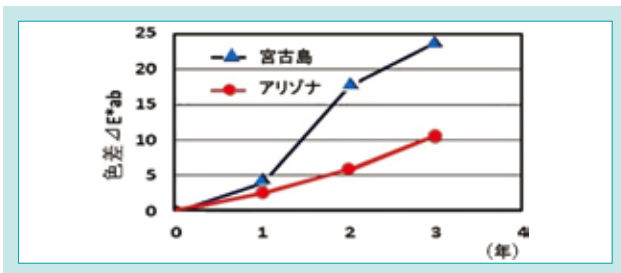


図1 アリゾナと宮古島の色差変化

Fig. 1 Change in Miyako (blue) and Arizona (red)

今回、促進性の点で水の負荷率アップと塗板(槽内)温度の影響を加味して、試験条件(モード)を検討した(図2)。

(□の数字は、モード番号)

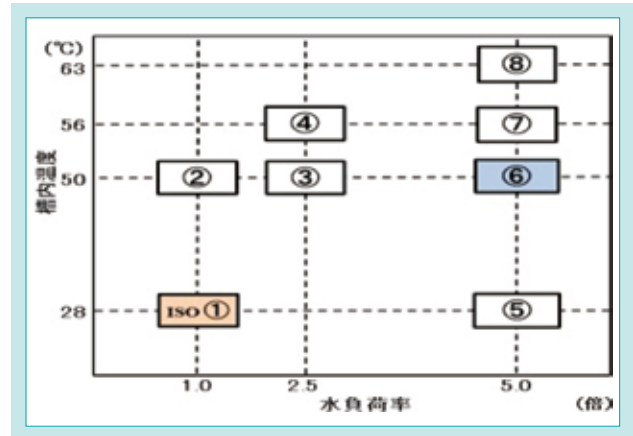


図2 試験条件の関係図

Fig. 2 Diagram Showing Relationships of Test Conditions

2-2 試験条件の選定

図2の試験条件の内、モード⑥が促進性と相関性が最も高く、クボタ独自の試験条件とした。図3に赤色塗膜の宮古島実曝試験とモード⑥促進試験の促進性と相関性を示す。

これより、エナメル系ウレタン樹脂塗膜(赤色)の耐候劣化

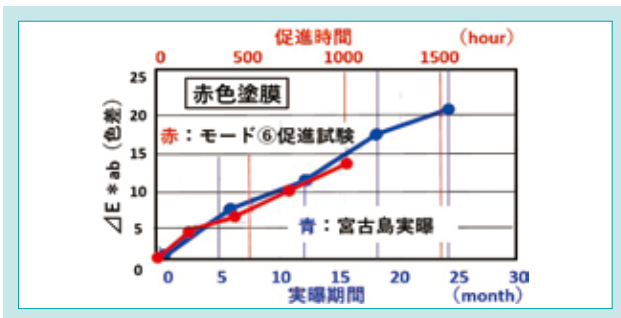


図3 宮古実曝とモード⑥の促進性と相関性(色差)

Fig. 3 Comparison of Change in red color between Miyako (blue) and Xenon (red)

は、宮古島実曝試験の約11倍の促進率(ISOモード①)では、約6倍)となり、相関性も良好であった。また、他色(青、黒、黄)も、促進率で10±1倍程度で、良好な相関性を示した。

一例として(図4)青色塗膜の結果を示す。

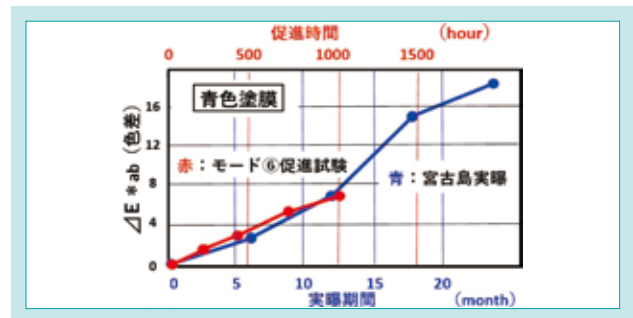


図4 宮古実曝とモード⑥の促進性と相関性(色差)

Fig. 4 Comparison of Change in blue color between Miyako (blue) and Xenon (red)

3. おわりに

実曝試験は、天候に左右されることや時間が掛かることから、促進試験を有効に活用することが望まれている。

今回、相関性が最も高いとされているキセノン試験の弱点

である促進性を高めることができた。今後、耐候性の良好なクイヤ系塗膜にも、この試験条件を展開することで、時間の掛かる耐候性評価のスピードアップに繋げていきたい。

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 実曝試験(2年間)を、短時間の促進試験で評価することに貢献

9.5 科学研究、イノベーションの促進 学会発表などを通じた研究テーマの共有化に貢献

参考文献

1) 赤堀雅彦、木本博之：マテリアルライフ学会 第30回研究発表会 講演集 p39-42 (2019)

フランジレスT字管・補修弁の開発

Development of Flangeless T-pipes and Isolating Valves

パイプネットワーク技術部／知的財産部

東日本大震災や熊本地震の被害調査において、水道管路の空気弁や消火栓等が設置されるT字管部で多くの被害が確認された。水道管路の耐震化が進む中、T字管の分岐側のほとんどが現在もフランジ継手であり、これらの継手の耐荷重性能や高圧止水性能の不足が、被害の主要因であると考えられた。また、補修弁は空気弁等から突発的に発生した漏水を早急に止水するため極めて重要であり、経年劣化で作動不良やシート面の止水不良が確認された場合には、速やかに交換する必要がある。しかし、不断水で交換するためには、大掛かりな工事が必要となり、工事の難易度が課題となっていた。

これらの課題を解消するため、地震に強い継手性能を有し、また補修弁の交換が容易なフランジレスT字管・補修弁を開発した。

【キーワード】

T字管、補修弁、フランジレス継手、横荷重、高圧止水性能、補修弁交換工法

A lot of damage to T-pipes located in water pipelines have been reported in investigations conducted after the 2011 Tohoku earthquake and 2016 Kumamoto earthquake. On the other hand, the use of earthquake-resistant joints has become widespread, but conventional flange joints are still predominantly used where the T-pipe branch joins another pipe. It was thought that the cause of the damage was that the joint strength and water tightness required during earthquake was insufficient. Isolating valves have to be replaced when performance deterioration occurs because these valves are vitally important in order to cut off water pressure in an emergency. That being the case, large-scale construction works were needed, and consequently there are some issues related to construction.

In order to address these issues, we developed flangeless T-pipes and isolating valves with high-strength joints sufficient to resist an earthquake and with an easy valve replacement function.

【Key Word】

T-pipe, Isolating Valve, Flangeless Joint, Lateral Load, High Pressure Water Sealing Performance, Construction Method for Replacing Isolating Valve

関連する SDGs



1. はじめに

地震や豪雨といった大規模自然災害が頻発する昨今、日本国内の水道施設にはさらなる強靱化が求められている。こうした中、水道管路に用いられている耐震型ダクタイル鉄管は、過去の大規模地震でも被害が報告されておらず、高い耐震性能が証明されている。一方、空気弁や消火栓等の付属設備は、管路と比べて耐震性が十分とは言えず、東日本大震災及び熊本地震の発生後の調査¹⁾²⁾でも、特に空気弁で多くの被害が報告された(表1)。

表 1 大規模地震発生時の機器別被害率

Table 1 Ratio of Equipment Damaged During Large Earthquake

| 区分 | 機器名 | 地震名 | 被害率 注1) 参照 | 被害数 | 設置総数 (または距離) |
|----------|----------------|--------|---------------|-----|-----------------|
| 管路 | 耐震型 ダクタイル鉄管 | 東日本大震災 | 0 件/km | 0 | (1780km) |
| | | 熊本地震 | 0 件/km | 0 | (628km) |
| 付属 設備 | 空気弁 | 東日本大震災 | 1.72% | 148 | 8,627 |
| | | 熊本地震 | 4.31% | 114 | 2,646 |
| | 消火栓 | 東日本大震災 | 0.03% | 18 | 55,970 |
| | | 熊本地震 | 0.06% | 11 | 18,414 |

注) 1. 管路の被害率：被害数／設置距離 km、付属設備の被害率：被害数／設置総数×100

こうした付属設備の被害の内訳をみてみると、異物の詰まり、空気弁の内部部品の破損と並んで、フランジ部からの漏水(図1)が多数発生している。

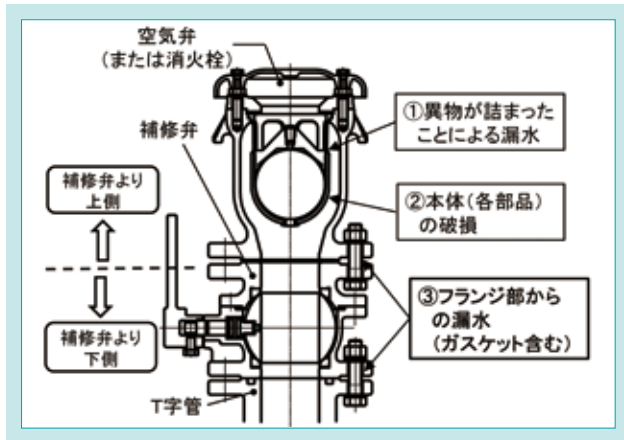


図1 大規模地震時の被害発生箇所

Fig. 1 Main Damage During Large Earthquake

これらの漏水の内、補修弁より上側の漏水は補修弁を閉鎖することで早急に止水できるが、補修弁より下側の漏水は容易に止めることができない。そこで、補修弁の下側のフランジ部を対象に、想定される大地震にも耐えられる新たなフランジレス継手を開発した。

また、緊急時に極めて重要な補修弁は、設置から長期間経過すると経年劣化、異物噛み込み等に伴う作動不良や漏水が

発生することがあり、状況に応じて速やかに交換する必要がある。しかし、補修弁を断水せずに交換する場合、専用の大型器具が必要であり、広い作業スペースの確保や高額な土木工事を要することが大きな課題となっていた。そこで、上記のフランジレス継手に容易に交換可能な機構を付加することにした。

地震に強い継手を有し、補修弁の交換が容易なフランジレスT字管・補修弁(図2)を導入することで、付属設備の耐震性能を管路と同じレベルまで上げることができ、地震時の漏水被害を大幅に低減することができる。以下に開発の内容について報告する。



図2 フランジレスT字管・補修弁

Fig. 2 Flangeless T-pipe and Isolating Valve

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

フランジレスT字管・補修弁の開発コンセプトを以下に示す。

- (1) 地震発生時に想定される横荷重(バルブボックスとの衝突に起因)及び高水圧(空気弁内部に発生する衝撃圧に起因)が負荷される条件において、継手の止水

性能を維持できること。

- (2) 補修弁の交換時に断水する必要がなく、またバルブボックスの撤去をはじめとする土木工事を行わずに交換が可能であること。

2-2 目標値

開発する継手サイズ(T字管の枝管)は、全体の80%以上を占める呼び径75の1種類とした。表2に示すとおり、開発目標はこれまでの調査結果から地震発生時に必要と考えられる継手部の止水性能及びT字管部に設置されるバルブボックスの標準的なサイズをもとに決定した。

表2 開発目標
Table 2 Target of Development

| 項目 | 開発目標 | |
|-----------|--------------------------------------|---|
| 継手サイズ(枝管) | 呼び径75 | |
| 継手性能 | 基本性能 | GX形継手と同等 |
| | 横荷重負荷時の止水性能 | 屈曲(曲げ角度1.5°)時に止水可能 曲げモーメント20kN・m負荷時に止水可能 |
| | 高圧止水性能 | 衝撃圧(5.0MPa想定)発生時に止水可能 |
| 補修弁交換 | 断水・バルブボックス(標準サイズ)内で交換可能 作業時間60分以内 | |

3. 解決すべき技術課題

3-1 T字管の継手構造

水道管路の耐震化が進む中、T字管部は現在もほとんどの箇所でフランジ継手が用いられている。大規模地震

の発生時には、T字管に接合した消火栓や空気弁がバルブボックスと衝突し、フランジ継手から漏水に至る事例³⁾が

多数確認されている(図3)。

また、地震の揺れにより管内の水圧が急激に変動した際、空気弁の内部で局所的に衝撃圧が発生することがあり、瞬間的に水圧が高まり、フランジガスケットが飛び出した事例も確認されている。そのため、地震時に想定される横荷重や高水圧が負荷された際にも止水性能を維持できる継手が必要である。

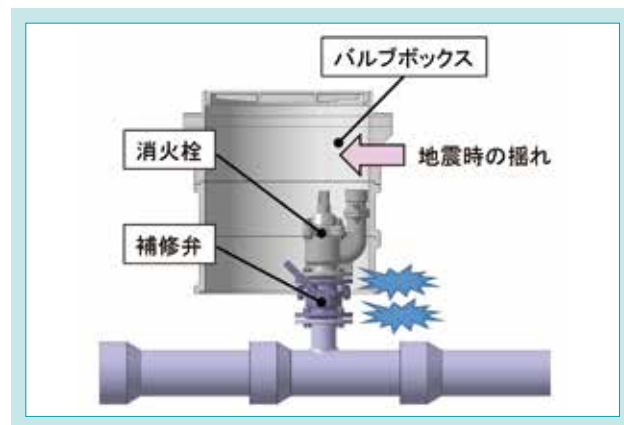


図3 バルブボックスとの衝突
Fig. 3 Collision with Valve Box

3-2 補修弁の交換工法

ダクタイル鉄管は、優れた耐食性を有するダクタイル鋳鉄に外面防食仕様の改良が付加され、近年長寿命化(100年相当)が図られている。一方、補修弁は異物噛み込みによる作動不良等の弁固有の不具合が発生することがあり、ダクタイル鉄管に比べると平均の耐用年数は短い。水道管路の維持管理が重要視される昨今、補修弁のみを交換する需要が今後増加すると予想され、断水及び土木工事が不要で作業が容易な補修弁の交換工法が強く求められている。

T字管部のバルブボックスの適用サイズは、内径600mmが最も一般的である。断水せずに補修弁の交換を行う場合、専用の大型器具の設置が必要となるため、バルブボックスの撤去と作業スペース(約1200角幅)を確保するための掘削が必須となる(図4)。

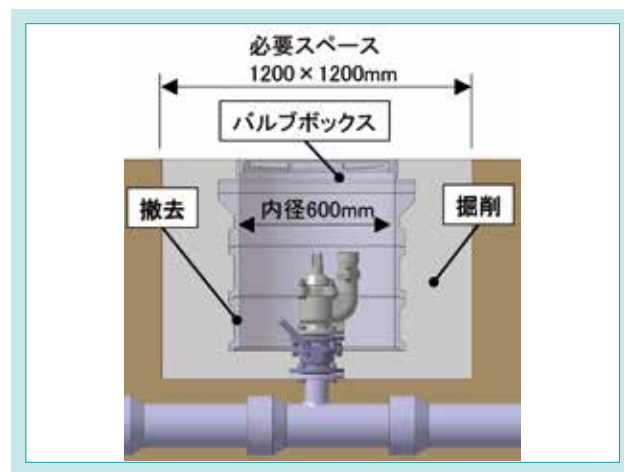


図4 従来工法の必要スペース
Fig. 4 Space Required for Conventional Method

4. 開発技術

4-1 T字管部のフランジレス継手

4.1.1 フランジレス継手の構造

開発したフランジレス継手の構造を図5に示す。

(1) 止水構造

補修弁の先端に挿し口を設け、T字管側の受口に挿入してゴム輪で止水する構造とした。ゴム輪はダクタイル鉄管で実績のあるT形と類似の形状とすることで屈曲時の止水性能を高めた。

(2) 離脱防止構造

分割構造の割リングをT字管と補修弁に設けた突起部にはさみ込む形で配置し、押えリングと回り止めで固定する構造とした。これにより、ボルト・ナットの締結力に頼らず、離脱防止性能を確保した。

次に接合手順を図6に示す。接合のための特殊な工具は不要で、実機を用いた接合試験では、約2分間で作業が完了することを確認した。

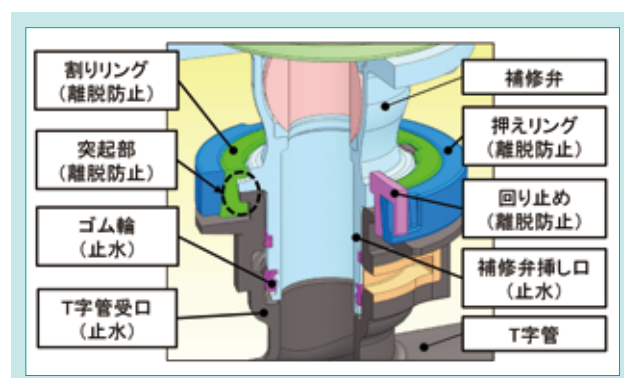


図5 フランジレス継手の構造
Fig. 5 Structure of Flangeless Joint



図6 接合手順
Fig. 6 Procedure for Jointing

4.1.2 継手の基本性能

開発したフランジレス継手の基本性能を評価するため、水密性試験、離脱防止性試験、曲げ強度試験を実施した。試験条件は、耐震型ダクタイル鉄管の規格(水道用GX形ダクタイル鋳鉄異形管 JWWA G121)をもとに決定し

た。離脱防止性試験、曲げ強度試験では、試験用継手部材を接合した後に試験機に設置し、所定の負荷を加えた(図7)。試験条件並びに試験結果を表3に示す。全ての試験で良好な結果を得た。

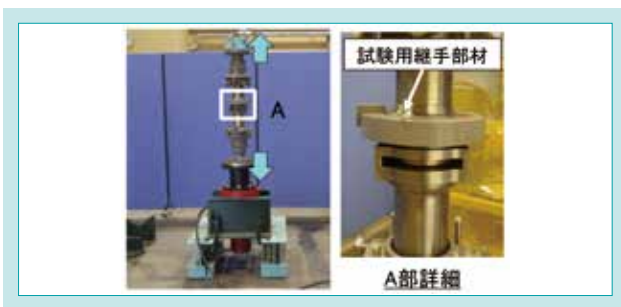


図7 離脱防止性試験の状況
Fig. 7 Aspect of Slip-out Resistance Performance Test

表3 基本性能試験の結果

Table 3 Result of Fundamental Performance Test

| 試験名 | 試験条件 | 試験結果 | |
|---------|------------------------|----------|---|
| 水密性試験 | 2.0MPaを5分間保持 | 漏水なし | ○ |
| 離脱防止性試験 | 離脱防止力 225kN負荷 | 継手部の異常なし | ○ |
| 曲げ強度試験 | 限界曲げモーメント 4.4kN・m負荷 | 継手部の異常なし | ○ |

4.1.3 横荷重負荷時の止水性能

T字管に横荷重が負荷された際の止水性能を評価するため、補修弁の上部に短管を取付け、油圧シリンダーで横方向に荷重を負荷し継手部が屈曲した状態で水密性試験を行った(図8)。その結果、設定したいずれの条件で

も継手部の漏水や異常はなく、開発目標を満足することを確認した(表4)。この結果から、本継手構造は大規模地震を想定した横荷重に対しても十分な止水性能を有していることを確認した。



図8 横荷重負荷試験の状況
Fig. 8 Aspect of Lateral Load Test

表4 横荷重負荷試験の結果

Table 4 Result of Lateral Loading Test

| 試験条件 | | | 試験結果 | |
|-------------------|--------|------|-----------------|---|
| 横荷重条件 | 水圧 | 保持時間 | | |
| 曲げ角度1.5° | 2.0MPa | 5分間 | 漏水なし 継手の異常なし | ○ |
| 曲げモーメント 20kN・m | 2.0MPa | 5分間 | 漏水なし 継手の異常なし | ○ |

4.1.4 高圧止水性能

地震時の衝撃圧を想定した高水圧(5.0MPa)を負荷して水密性試験を行った。その結果、継手部の漏水はなく、十分な高圧止水性能を有することを確認した(表5)。

表5 高圧止水試験の結果

Table 5 Result of High Pressure Sealing Test

| 試験条件 | | 試験結果 | |
|--------|------|------|---|
| 水圧 | 保持時間 | | |
| 5.0MPa | 15秒間 | 漏水なし | ○ |

4-2 補修弁の交換工法

4.2.1 工法の検討

補修弁を不断水で交換するためには、T字管と補修弁の間に水圧を遮断する必要がある。そのため、補修弁の下部に作業弁を横方向に設置して止水する工法を検討した。バルブボックス内での作業弁の組立を可能とするには、コンパクト化、軽量化が必要であり、T字管及び作業弁に以下の設計を採用した。

- (1) T字管受口側部にあらかじめ作業弁用の開口(図9)を設け、作業弁の弁体が通過するスペースをT字管内面に設ける。
- (2) 作業弁本体が2分割されており、両端のボルトを90°回転させナットを2箇所締めることで組立が完了する構造とする(図9)。

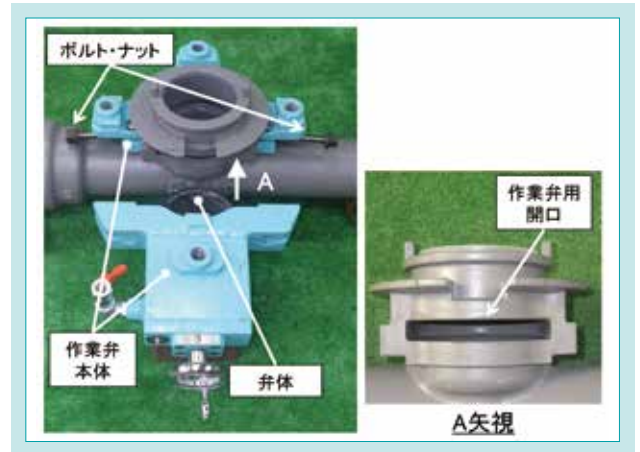


図9 作業弁の構造
Fig. 9 Structure of Working Valve

4.2.2 交換手順

補修弁交換工法の作業手順を以下の(1)~(4)及び図10に示す。

- (1) 分割構造の作業弁をT字管側部に両方向からはめ込み、両端のボルト・ナットで締結する。
- (2) 作業用ボルトを作業弁の両端に固定し、ボルト上部の固定ナットにより補修弁を拘束する。これにより、水圧による抜け出し力で補修弁が上方方向に移動しないようにする。
- (3) 継手部品(回り止め、割りリング、押えリング)を取外し、T字管と補修弁の固定機能を解除する。その後、固定ナットを緩めることにより補修弁を所定の位置まで引上げる。なお、固定ナットを緩めると、補修弁は水圧により自動的に上方方向に移動する。
- (4) 作業弁の閉操作を行い、作業弁が止水できていることを確認する。その後、固定ナットを取外し、補修弁を完全に引上げ撤去する。

新しい補修弁の設置は、逆の手順で作業用ボルト・ナットを使用して補修弁の挿し口を挿入し、継手部品を組立てることにより行う。この手順で補修弁の交換を行うことが可能となる。



図10 交換工法の手順
Fig. 10 Replacement Method Procedure

4.2.3 地上での作業性確認試験

本工法の作業性を確認するため、まず十分なスペースが確保された地上において、実機を用いて補修弁の交換作業を行った。その結果、約22分で交換を完了し、交換作業性に問題がないことを確認した(表6)。

表6 交換作業時間

Table 6 Replacement Work Time

| 作業名 | 所要時間 | 合計時間 |
|---------------------------|------|------|
| 作業弁設置 | 4分 | 22分 |
| 継手部品解体／ 作業弁操作／ 弁類撤去 | 6分 | |
| 補修弁設置／ 継手部品組立 | 6分 | |
| 作業弁解体／ 消火栓設置 | 6分 | |

4.2.4 バルブボックス内での作業性確認試験

バルブボックス内での交換作業性を確認するため、表7に示す条件の水道管路に実機を布設し、補修弁の交換作業を行った(図11)。

表 7 試験管路の設置条件
Table 7 Test Condition

| 項目 | 設置条件 |
|--------|---------|
| 管路サイズ | 呼び径150 |
| 枝管サイズ | 呼び径75 |
| 管内水圧 | 0.38MPa |
| 土被り | 800mm |
| ボックス内径 | 600mm |

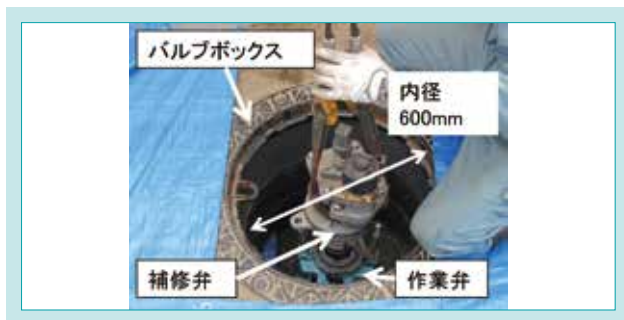


図 11 バルブボックス内での交換作業
Fig. 11 Replacement Work Inside Valve Box

その結果、作業時間は約33分となり、十分なスペースがある条件と比べて約1.5倍の時間を要したが、開発目標(60分以内)は達成することができた。ただし、バルブボックス内の限られたスペースにおいて、手作業で補修弁の撤去と再取付けを行うためには、一定の技量が必要であり、作業性に課題が残った。そのため、バルブボックス内に手を入れることなく、地上での作業のみで交換が可能な専用治具(図12)を投入することにより、作業性の改善を図った。専用治具を使用した条件では、作業時間を約12%短縮(治具未使用時33分、治具使用時29分)することができた。



図 12 専用治具の使用例
Fig. 12 Example of Specialized Tool

5. おわりに

上記のとおり開発を進め、フランジレスT字管・補修弁の製品化を行った。本製品の特長を以下にまとめる。

- (1) 耐震型ダクタイル異形管と同条件の継手性能試験を行い、同等の性能を有することを確認している。
- (2) 地震時に想定される横荷重や高水圧にも耐えられる止水性能を有する。
- (3) ボルト・ナットを使用しない継手構造で、接合作業に特殊工具が不要である。そのため、接合は容易かつ短時間に行うことが可能である。
- (4) 内径600mmのバルブボックス内において、不断水で補修弁の交換作業が可能である。

本製品は、2018年より販売を開始し、着実に販売台数を増やしている。また、採用した一部の水道事業者より、その機能

に関して高い評価をいただいている。

大規模地震時に発生した付属設備の被害は、「フランジ継手からの漏水」に加えて、「空気弁内部の各 부품の損傷」も多く発生した。損傷した部品は多岐にわたり、部品の市販性がないことから、水道管路の復旧に時間を要する一つの要因になった。クボタでは、この事象についても原因究明と対策検討を行い、空気弁の改良に生かしている⁴⁾。

上述したフランジレスT字管・補修弁の開発及び空気弁の改良は、大規模地震が発生した際の水道管路の付属設備に関連する被害の抑制に貢献するものとする。

今後も水道管路全体の耐震化に貢献する開発を行い、国内水道施設のさらなる強靱化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 安価な補修弁交換工法の提供により貢献

9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 自然災害に強いT字管・補修弁の提供により貢献

参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会 平成23年(2011年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害状況報告書
- 2) 熊本地震水道施設被害等現地調査団 平成28年(2016年)熊本地震 水道施設被害等現地調査団報告書
- 3) 菅原一男ほか:「地震時における水道施設被害についての検証(Ⅱ)」第48回全国水道研究発表会 pp.598-599
- 4) 本郷卓也ほか:「東日本大震災における水道用急速空気弁破損の原因究明及びその対策」平成25年度全国会議(水道研究発表会) pp.700-701

石油化学プラント用特殊仕切弁の診断技術開発

Development of Diagnostic Technology for Special Gate Valve for Petrochemical Plant

ポンプバルブ製造部／システム先端技術研究所

石油化学プラント用特殊仕切弁(以下、SG-V)は、米国Lummus Technology社のCatofin® Processに世界で2社認定されているバルブ事業の海外向け主力製品である。これまで世界6か国14プラントに製品を納めてきており、世界シェアは60%に至っている。近年、プラント稼働年数の増加に伴い、製品ライフサイクルコストを極小化する予防保全活動が高まりを見せている。ここでは、プラント稼働中にバルブの状態を診断し、適切な時期に適切なメンテナンスを行えるようにするための診断技術を開発した取り組みについて報告する。

【キーワード】

石油化学プラント、診断、予防保全、高温

Special gate valves for petrochemical plants (hereinafter, SG-V) are the main export products of the valve business, and only two companies globally have been licensed by U.S. Lummus Technology to use the Catofin® Process. The company has so far supplied products to 14 plants in 6 countries with a global share of 60%. In recent years, in concert with the increase in the number of years of plant operation, preventive maintenance activities to minimize the product life cycle cost have been increasing. This report describes efforts to develop diagnostic technology to diagnose the condition of the valve while the plant is in operation and to perform appropriate maintenance at an appropriate time.

【Key Word】

Petrochemical Plant, Diagnostic, Preventive Maintenance, High Temperature

関連する SDGs



1. はじめに

PDH(Propane Dehydrogenation)プラントは、高温でプロパンから水素を取り除くことでプロピレンを生成するプラントである。典型的なプラントは8基の反応炉で構成され、1つの反応炉には弁種の異なる8台のSG-Vが設置されるため、総数量は8X8=64台となる。図1に反応炉に取付けられるSG-Vの配置を示す。これら8台のバルブは反応を制御するうえで重要な役割を果たしている。バルブの設計温度は最大704℃、開閉頻度は20分に1回となっており、非常に厳しい運転条件といえる。そのため、約2~3年ごとにプラントを停止し、バルブを配管から取り外して、メンテナンスが実施されるが、通常1~1.5ヶ月とメンテナンス期間が限られていることから、64台全てのメンテナンスを行うことはできない。そのため、メンテナンスを実施するバルブの選定が非常に重要となる。適切な時期に適切なメンテナンスを行い、客先プラントの安定操業に貢献する

ため、運転中にバルブの内部状態を診断する技術を開発した。

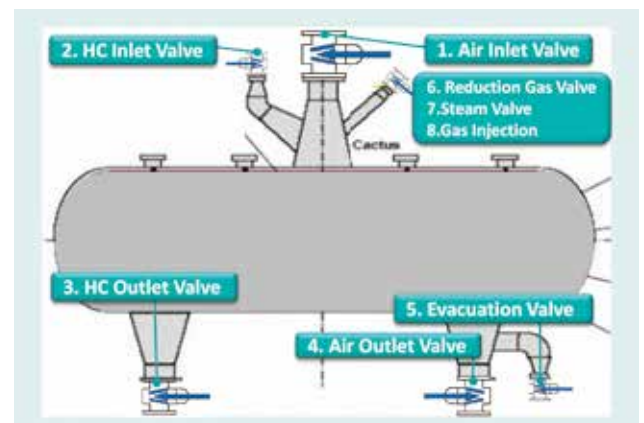


図1 PDHプラント反応炉におけるSG-Vの配置¹⁾
Fig. 1 SG-V Location of Reactor for PDH Plant

2. 開発のコンセプト

従来、クボタが、顧客に提供してきた現状の手法及び診断技術開発に基づく新手法について以下に記載する。

[現状の手法(Current practice)]

図2に示すように、プラントの停止後にバルブに設置されたフランジを取り外して実施するバルブ内部点検(Window Inspection)に基づき、修理するバルブを決定する。

[問題点]

- 1). 直前で損傷が判明しても、予備の部品数量、工程に余裕がなく十分な修理が行えない。
- 2). 目視検査で検出できるバルブの損傷には限界があり、メンテナンスすべきバルブを見逃してしまう可能性がある。

[新手法(New practice)]

図2に示すように、プラント稼働中に定期的にデータを取得し、経過観察とともに、バルブの状態診断を行う。そして、現状の手法に診断結果を加え、総合的に修理するバルブを決定する。

[効果1]: プラント稼働中に定期的にバルブの診断を行い、メンテナンスが必要なバルブの概要を把握することで、事前にメンテナンスの準備が行える。

[効果2]: 目視検査の結果及び上記結果を総合的に判断することで、メンテナンスすべきバルブの選定精度を高める。

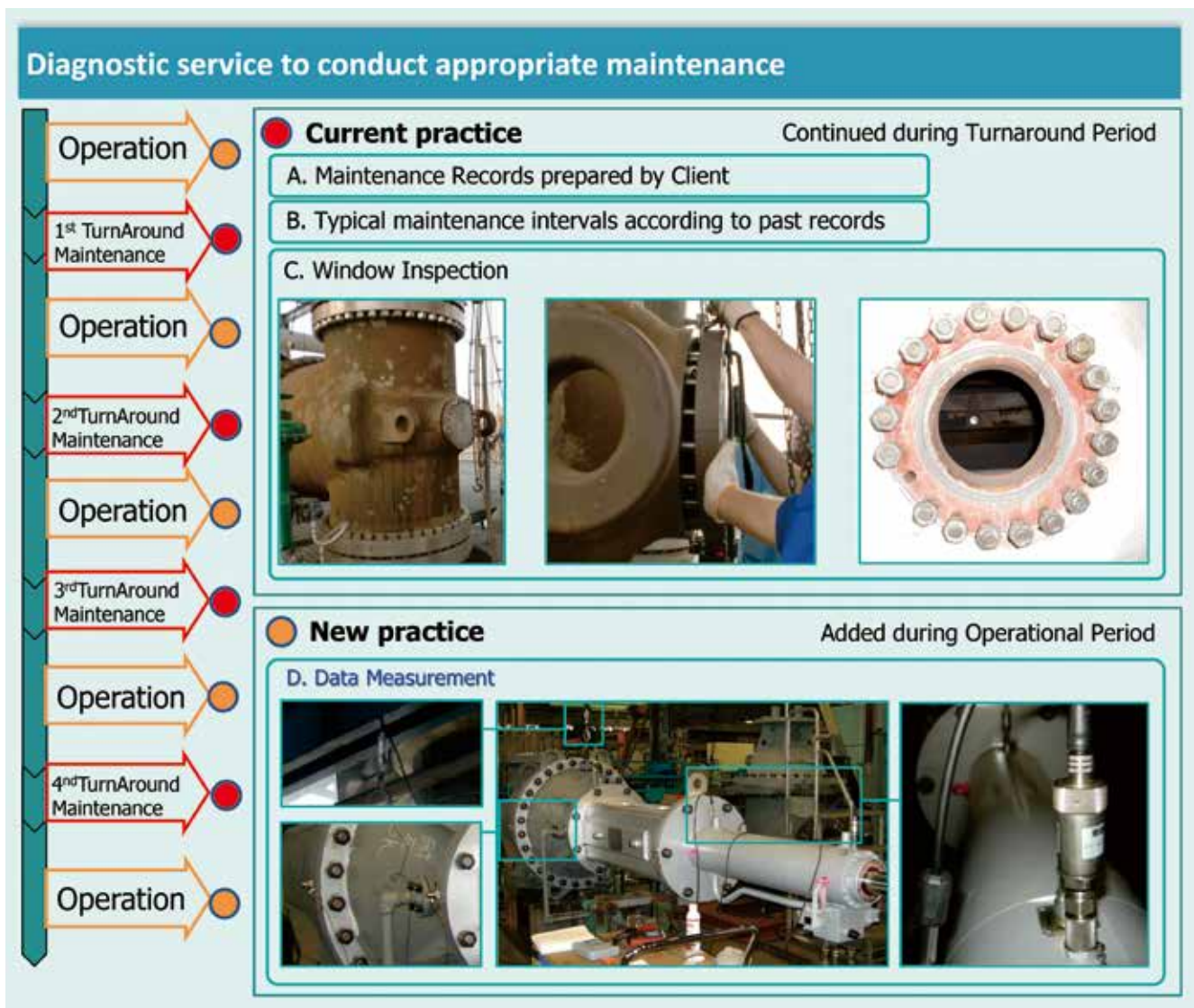


図2 現状の手法と新手法
Fig. 2 Current Practice and New Practice

3. 解決すべき技術課題

図3に対象としたSG-Vの外観を記載する。本バルブは油圧駆動の仕切弁で、最大704°Cの高温腐食環境下において、20分間に1回開閉を行う。このような過酷な環境下での使用により、摺動部(図3に示す「Guide, Seat」部)の摩耗、熱応力による変形が進行する。この影響によって、低下したシール性能と安定作動性の回復が定期メンテナンスの主な目的となる。

安定作動性を妨げる損傷事例として、コア部品であるDisc Guideに発生した損傷状態を図3下部に示す。本部品は長期間の安定した作動を実現するため、摺動面に高温環境下で優れた耐久性を示すTribaloy T-800と呼ばれるコバルトベースの特殊硬化盛金を施工しているが、長期間部品を交換せずに運転を行うと、T-800が摺動で摩滅し、図3下部に示すように母材の摩耗が急激に進行する。

上述した損傷事例のように、弁内部で進行している損傷をプラント稼働中に、外部からのデータ測定によって推定・特定することで、弁性能にとって最も重要なシール性能と安定作動性の状態を把握することが解決すべき技術課題である。

3-1 技術課題

①-1. 測定すべきデータの選択と蓄積：

図4に示すように、稼働中に外部から安全に測定可能な物理量(温度、圧力、振動、流量)を抽出し、測定対象とした。抽出したデータのうち、診断に適用可能なデータを決定し、蓄積していくこと。

①-2. 測定したデータの統計処理による評価指標の策定：

測定したデータの一例を図4下部に示す。これは、バルブ閉動作時のa. Hydraulic Pressure(以下作動差圧)とb. N2 Bonnet Pressure(以下N2ボンネット圧力)の経時変化を示している。測定したデータの状態では、バルブ内部の損傷状況と相関性を確認し、傾向を把握することが難しいため、測定したデータを診断に使用できる評価指標に変換すること。

①-3. 評価指標と実際の損傷状況との相関性の確認：

評価指標と実際の損傷状況に相関性がないと、診断結果を導くことができない。①-2で策定した評価指標と実際の損傷状況との相関性の確認を行い、どの指標が診断に適用可能かを決定すること。

②. データ解析活動の効率化：

①-2で策定した評価指標の算出に時間を要するため、測定から結果を確認するまでに時間差が生じる。データ測定を行ったその場でタイムリーに結果を確認することができること。

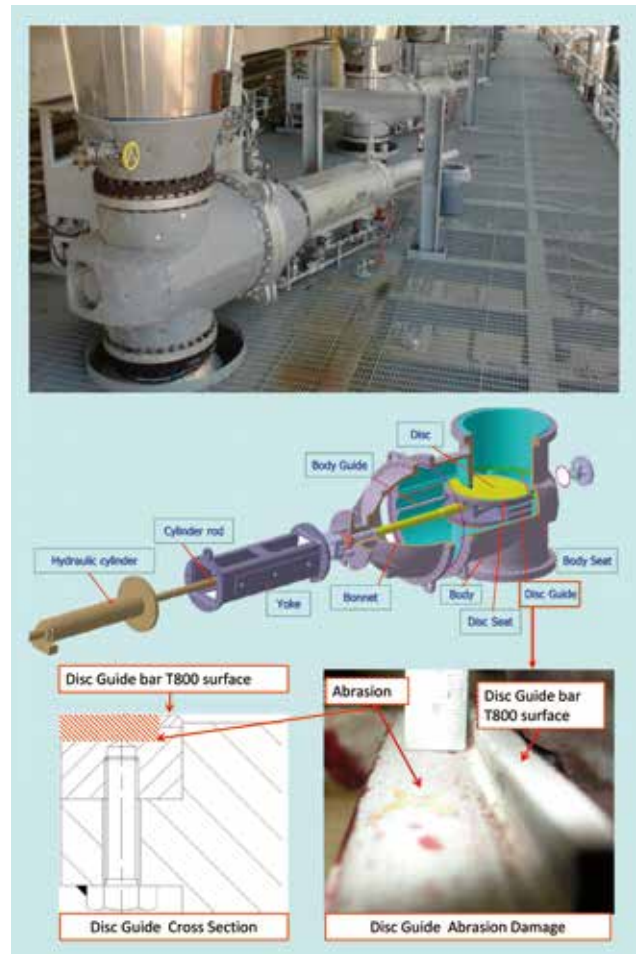


図3 特殊仕切弁外観と損傷事例
Fig. 3 Overview of Special Gate Valve and Typical Damage

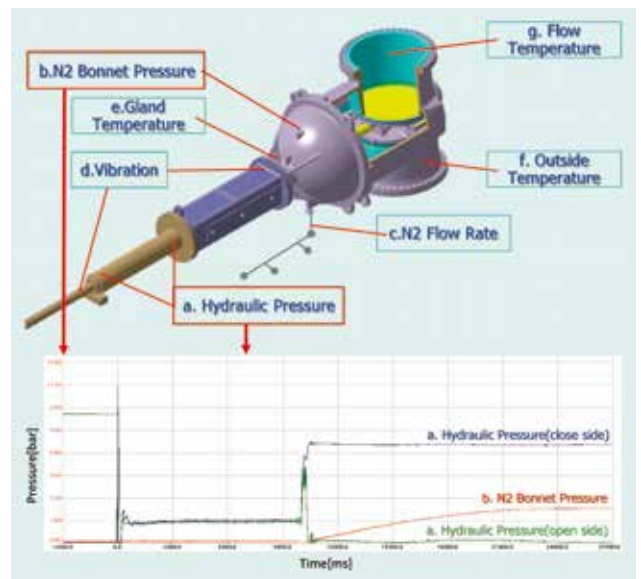


図4 抽出した測定対象データ
Fig. 4 Extracted Target Data for Measurement

4. 開発技術

4-1 診断技術

4.1.1 評価指標

3. 技術課題で示した「①-1.データの選択」⇒「①-2.評価指標の策定」⇒「①-3.評価指標と損傷状況の相関性確認」を解決するためには、測定と評価のサイクルを回していく必要があり、実際のプラントで実施した。約4年間、複数プラントで上記サイクルを続けた結果、現段階で有力であると判断し、決定した内容について、以下に記載する。

課題①-1の測定すべきデータに関しては、試験的に測定可能なデータ測定を行ったうえで、バルブの性能に最も影響があるシール性能及び安定作動性能と相関性が確認でき、測定が比較的容易である作動差圧とN2ボンネット圧力とした(図4参照)。

課題①-2の測定したデータの統計処理による評価指標として、特微量Aと特微量Bを見出した。この特微量は、課題①-3で挙げているバルブ内部の実際の損傷状況と一定の相関性が確認できている。

特微量A:[安定作動性能と相関性のある指標]

油圧シリンダより測定した作動圧力の差圧を計算し、移動平均差分をとる。そして、シリンダクッションの影響を受けない作動区間において、ホテリング統計量に基づき、閾値を定める。この閾値から外れた値を異常値(赤色で示す点の数)としてカウントする。閾値は、バルブの種類、口径によって設定する。また、蓄積したデータ測定に準じて適宜更新していくことで、その精度を高めていく。図5に、実際に不具合を発生させたバルブのデータと、正常作動時のバルブのデータを示す。このように、異常値の数と、パルス状の立ち上がりで具体的に区分けすることが可能であることが分かった。

特微量B:[シール性能と相関性のある指標]

図6に示すように、N2ボンネット圧力P2、ディスク引き抜き時の作動圧力の平均P1によって、摩擦係数を算出し、P2の値と摩擦係数の値によって、シール性能を評価する指標とした。実測定によって、特微量Bが、図4に示しているシート性能に直結するc. N2 Flow rate(N2流量)と相関性があることが確認できており、シール性能を評価する指標として妥当であることが分かった。

4.1.2 診断の実施

図7に示すように、半年に一度特微量の測定を実施し内部

状態の診断を実施する。そして、メンテナンス履歴、稼働年数、プラントの運転記録などの情報と蓄積したデータに基づき、修理が必要なバルブの優先順位付けを行い、図8に示すような形でメンテナンスすべきバルブを明確にし、適切な時期に適切なメンテナンスを行えるようにすることで、製品ライフサイクルコストの極小化を実現していく。

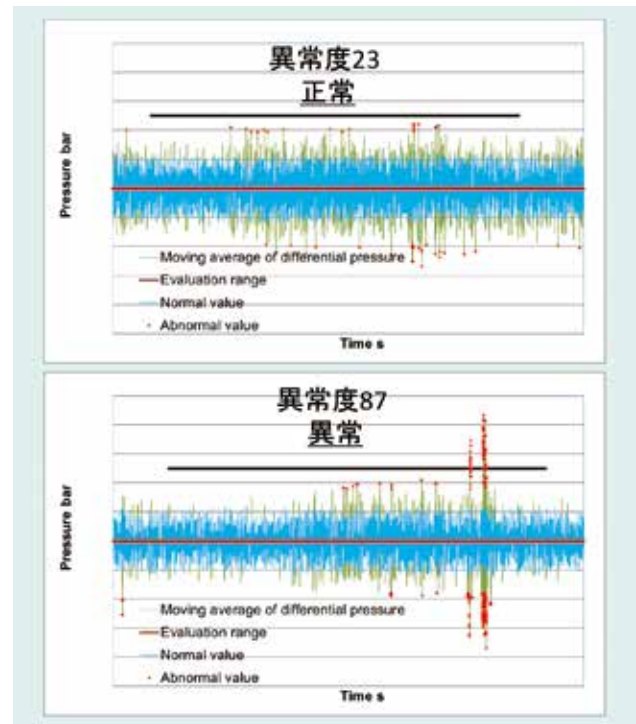


図5 弁作動に対する特微量A
Fig. 5 Evaluation Factor for Valve Operating Function

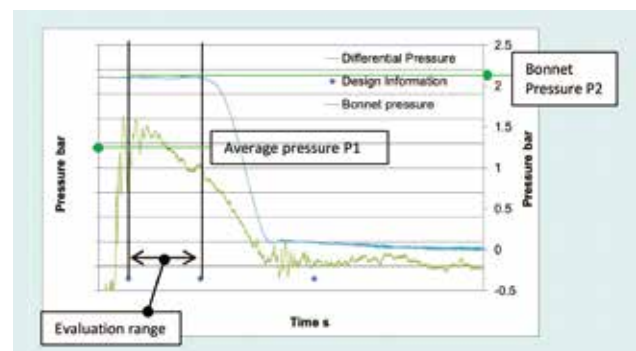


図6 シール性能に関する特微量B
Fig. 6 Evaluation Factor for Valve Sealing Function



図7 診断の測定周期
Fig. 7 General Diagnostic Interval

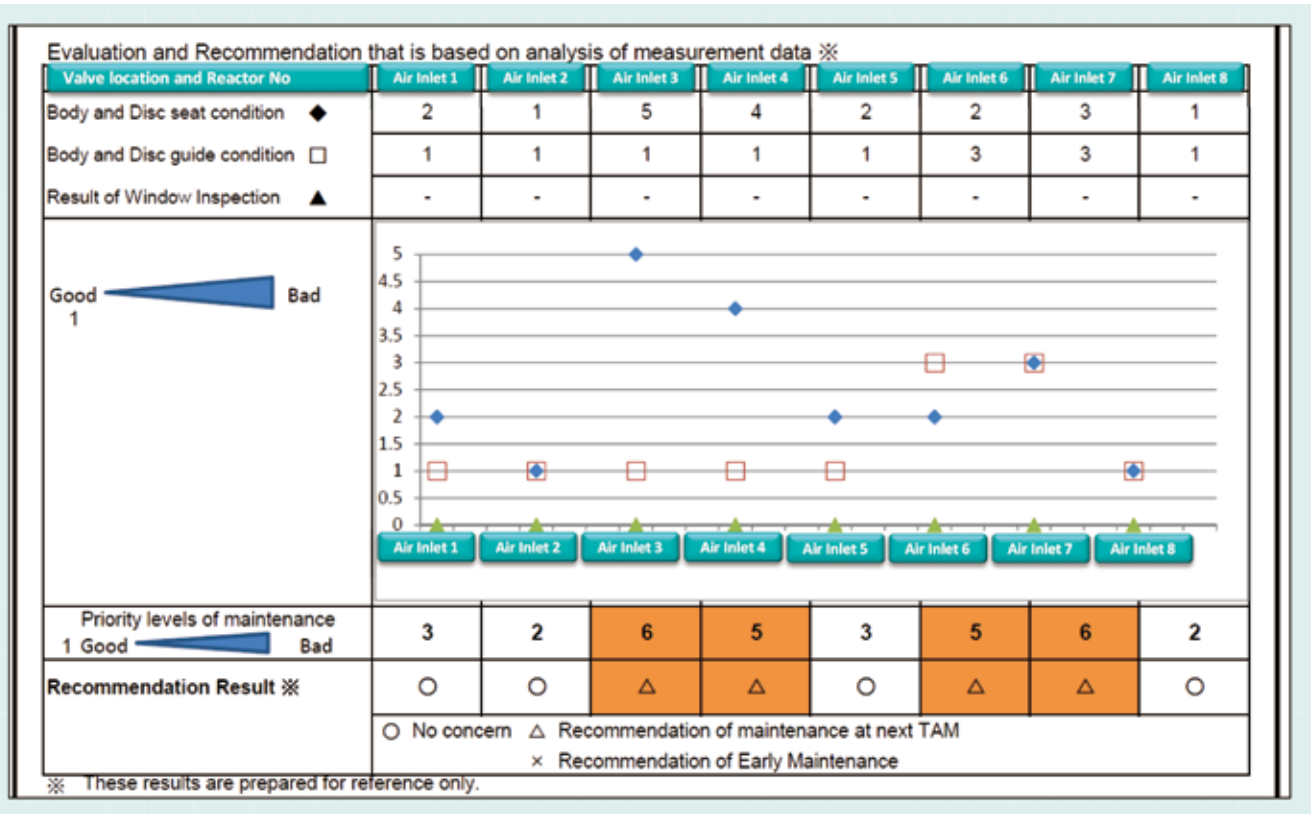


図 8 メンテナンスを行うバルブの優先順位例
Fig. 8 Priority Level Sample for Maintenance

4 - 2 診断の自動化技術

4.2.1 診断の自動化技術の開発

データの解析を効率的に行うために(3. 技術課題②参照)、KSYS診断共通プラットフォーム²⁾を応用展開して、計測現場で診断結果が得られるシステムを開発した。システム構成を図9に示す。現場で扱う機器を市販データロガーではなく、タブレットPC(以下、KSYSタブレット)とすることで柔軟な機能追加と高い可搬性の両立を狙った。このKSYSタブレットは既に加速度センサを使って回転機械や軸受の診断ツールとして実験・試運用を始めているが、SG-V専用アプリケーションとして、自動計測用トリガ、圧力高速サンプリング、任意区間のデータ抽出、統計処理による精密診断、計測履歴確認等の機能を新たに付け加えた。

このKSYSタブレットを現場に持ち運んで計測を行った後に条件を指定すると即時に2種類(シール性能と作動性能)の診断が実行され、それぞれの診断による異常有無をアラートLEDにより確認することができる。図10はKSYSタブレットの診断画面例である。

現場から診断データを無線でクラウドの診断サーバに転送することも可能であり、熟練技術者が遠隔から現場の状態を確認して支援を行うためのツールとしても利用できる。更に、今後中長期データを蓄積していくことで診断ロジックの

精度向上やAI・機械学習との連携も見込める。

また、KSYS診断共通プラットフォームでは人手を介さない常設型の診断装置も開発中であり、SG-V用の常時監視・診断システムへの応用も可能である。



図 9 KSYS 診断共通プラットフォームのシステム構成
Fig. 9 KSYS Platform System Diagram

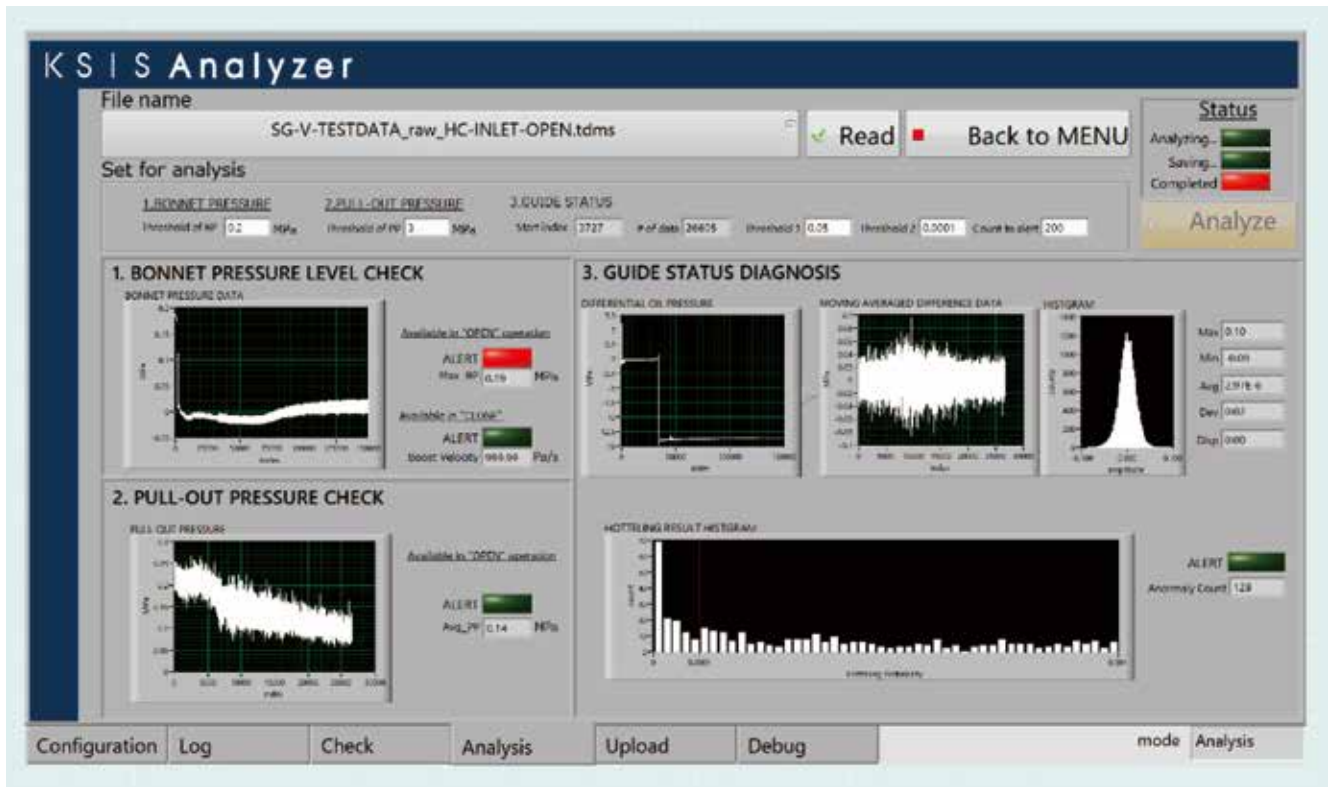


図 10 KSIS タブレットの SG-V 診断画面例
Fig. 10 Diagnostic Sample Screen of KSIS Tablet

5. おわりに

本稿では現在進めている診断技術開発に関して紹介した。診断技術は、客先へ予防保全効果を提供し、自社製品のライフサイクルコストを極小化するだけでなく、

- ①.バルブ作動力の最適化
- ②.高温環境下でのバルブシール性能改善
- ③.材質変更による長年の課題であったバルブの損傷の改善等、様々な付帯効果を創出し、SG-Vの製品競争力強化に大きく

貢献している。

今後は、ライセンサーへの技術PRIによるスペックイン活動に加えて、石油石化市場の他機種への展開を進める。また、現在半年毎に実施している定期的なデータ測定では、急激な状況の変化に対応できないため、リアルタイムでデータの収集と監視を行う遠隔診断技術を実現するべく、開発活動を推進していく。

SDGs のターゲットへの貢献

- 9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 診断技術による予防保全活動で、プラントの安定稼働に貢献
12.2 天然資源の持続可能な管理及び効率的な利用 製品寿命の延長で、原材料の効率的な利用に貢献

参考文献

- 1) Hisham A.Maddah : A Comparative Study between Propane Dehydrogenation (PDH) Technologies, American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (2018) Volume 45, No 1, pp 49~63
- 2) 吉田泰太郎、藤山大士、高橋 雅司:「クボタIoTソリューションシステムKSISによるバルブ診断」、バルブ技法、No79、(2017)、pp.30~33

都市ごみ焼却炉の燃焼解析技術の開発

Development of Combustion Analysis Technologies for Municipal Waste Incinerator

水環境開発第一部／水環境開発第三部
クボタ環境サービス（株）焼却プラント部

都市ごみ焼却炉の開発において、顧客ニーズである環境性能向上とライフサイクルコスト(LCC)削減を両立した開発を加速するため、燃焼解析技術の活用が必要となった。しかし、解析を実施するに当たって、都市ごみ焼却炉内で発生する複雑な燃焼反応を全て再現するのは困難であること、焼却炉の形状やガス吹込方法の検討に必要な3次元解析は計算時間が非常に大きくなる、という2つの問題があった。そこで、本開発では、都市ごみの模擬試料による燃焼試験、及び燃焼反応の絞り込みを燃焼解析モデルに反映することにより、計算時間を抑えつつ、焼却炉内の熱流動の把握を可能とする燃焼解析技術を開発した。最後に、実炉試験で検証した本技術の有効性について述べる。

【キーワード】

都市ごみ焼却炉、燃焼解析、燃焼反応、燃焼試験、3次元解析

In order to develop a municipal waste incinerator which met the customer requirement for rapidly reducing the environmental burden and lifecycle cost (LCC), utilizing combustion analysis technologies has been imperative. However, there were two problems in conducting combustion analysis. First, it was impossible to take into account several hundred combustion reactions that take place inside an incinerator. Second, 3D numerical analysis, which was necessary to examine the performance of the actual incinerators, requires huge computational resources. To solve these problems, identifying the main combustion reactions and choosing an adequate numerical combustion model were conducted based on the results of a refuse-derived fuel (RDF) combustion test in the experimental reactor. As a result, it was found that 3D numerical analysis could be applied in incinerator design. The validation results for this combustion analysis method in an actual incinerator test are also described in this article.

【Key Word】

Municipal Waste Incinerator, Combustion Analysis, Combustion Reaction, Combustion Test, Three-dimensional Analysis

関連する SDGs



1. はじめに

都市ごみ焼却炉では、燃焼に伴いNO_x(窒素酸化物)が発生する。NO_xは大気汚染防止法で定められた規制対象物質であるため、排ガス再循環(以下、EGR)などの燃焼技術と触媒脱硝(以下、SCR)や無触媒脱硝(以下、SNCR)などのNO_x分解

技術がある。また、近年、他プラントメーカーでは、顧客ニーズである環境性能向上とライフサイクルコスト(以下、LCC)削減の両立のため、EGRなどの燃焼技術と併用したSNCRの高効率化技術の開発が行われてきた(図1)。一方、都市ごみ焼却炉

に適用する新たな技術開発は実炉での試験・検証が不可欠である。しかし、実炉の試作は現実的ではない。また、既設炉を使用しても施設の改造や実験に多大な労力と費用が必要と

なり、実験回数・実験期間も限られる課題がある。先述の顧客ニーズに適合した開発を加速するため、これらの問題解決ができる燃焼解析技術の開発が必要となった。

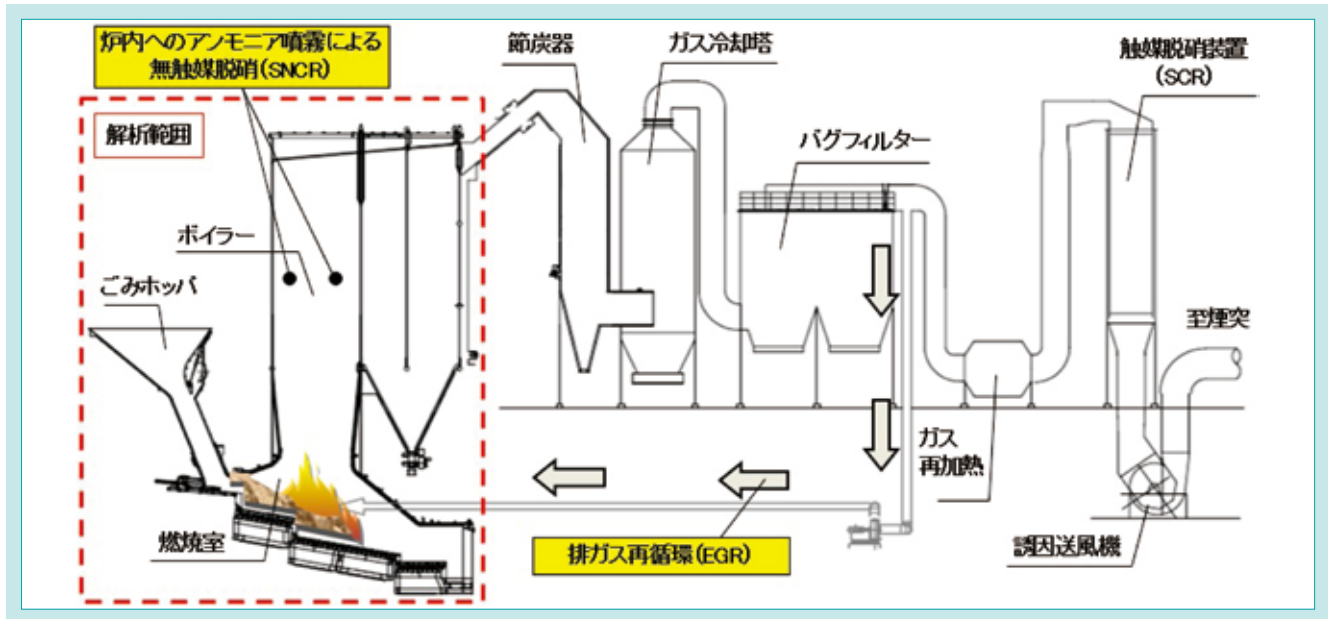


図1 都市ごみ焼却プラントの概略フロー
Fig. 1 Outlined Scheme of the Municipal Waste Incinerator

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

顧客ニーズである環境性能向上とLCC削減を両立するため、以下の3項目を開発のコンセプトとした。

2.1.1 燃焼解析における計算時間の短縮化

- (1) 基礎的な燃焼試験を実施し、適正な燃焼解析を実施するのに必要な燃焼反応を絞り込む。
- (2) 熱・流れの変化が激しい燃焼解析を安定に解き、焼却炉全体を解析対象とできる計算メッシュを作成する。

2.1.2 焼却炉内の温度予測精度の向上

- (1) 前述の燃焼試験より、燃焼反応式を導出し、この式に反映する反応速度を決定する。
- (2) 燃焼反応による輻射伝熱、及びボイラー吸熱等の炉壁面を介した熱損失を解析モデルに反映する。

2.1.3 製品性能を予測・評価できる燃焼解析技術の開発

実炉規模の排ガス流れ・温度予測を可能にし、実炉の構想段階から製品性能を予測・評価できる燃焼解析技術を開発する。

2-2 開発目標値

開発目標値を表1に示す。実炉設計において活用できる燃焼解析の実現の観点から、実炉での解析範囲、計算時間、焼却炉内の予測温度の目標を設定した。

- (1) 解析範囲 実炉設計、実炉試験において、設計検証に必要な結果を提供できる解析範囲
- (2) 計算時間 設計変更や追加に素早く対応できる計算時間
- (3) 焼却炉内の予測温度 製品性能として重要な各評価面について、実炉試験データに基づき、温度予測に適用可能と判断できる値

表1 開発目標値(EGR条件)
Table 1 Development Target (EGR Condition)

| 項目 | 目標値 | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------|
| 解析範囲 | 実炉のごみ層上部からボイラーの第2パスまで | |
| 計算時間 | 1日以内/1条件(並列コア数128) | |
| 焼却炉内の 予測温度 ^{※1} (面平均) | 評価面① | 950~1150°C |
| | 評価面② | 800°C以上 |
| | 評価面③ | 600°C以下 |

※1 評価面①~③の位置は図3を参照

3. 解決すべき技術課題

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

① 燃焼反応の絞り込みと燃焼解析への反映

予測精度向上のために燃焼反応を多く考慮すると膨大な計算時間(3日以上/1条件)が必要となる。そこで、都市ごみの模擬試料による燃焼試験により、燃焼解析に反映する燃焼反応を絞り込み、計算時間の短縮化と予測精度向上の両立を図る必要があった。

② 3次元解析モデルの作成と計算条件の適正化

運転条件によっては、ガス流入速度は数10m/sに達するため計算が発散しやすい。また、従来の解析手法では炉内温度が高くなり、適正な温度予測ができない問題があった。

③ 実炉試験による有効性の検証

燃焼解析を実炉設計に適用するためには、実炉かつ実際の都市ごみを使用した試験にて、有効性が検証されていることが必須である。そこで、開発した燃焼解析により、SNCR試験での課題解決を実施し、有効性を検証した。

4. 開発技術

4-1 燃焼反応の絞り込みと燃焼解析への反映

4.1.1 燃焼反応の絞り込み

実炉では、都市ごみの燃焼により多数の燃焼反応が発生しているが、その全てを考慮するのは現実的ではない。そこで、基礎的な燃焼試験による燃焼反応の絞り込みを実施した。実際の都市ごみは取扱いが難しく、燃焼試験に適さないことから、廃棄物固形燃料(以下、RDF)を模擬試料として選定した。図2にRDFによる燃焼試験の概要を示す。実験装置内を温度900°Cの雰囲気中に保ち、RDF(φ16~17mm)の熱分解ガスの測定を行った。表2は熱分解ガスの測定結果である。発生ガス量はH₂が最も多いが、H₂はCO、CH₄に比べて燃焼速度が格段に速い。また、CH₄は一旦COとH₂を経てCO₂、H₂Oに酸化されるようにモデル化されることが多い。そこで、反応領域及び反応速度の代表としてCOの燃焼反応に着目した。

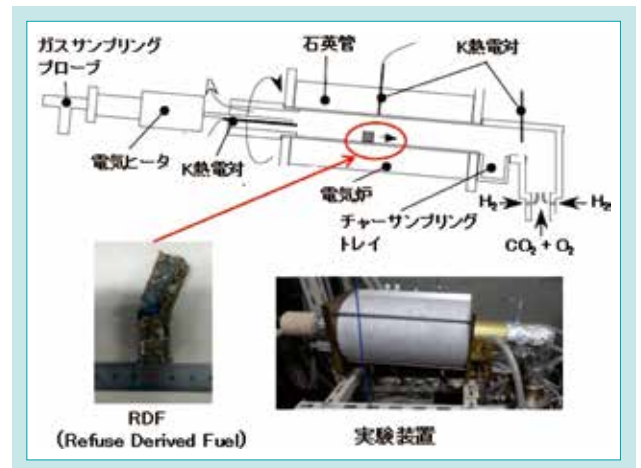
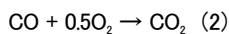
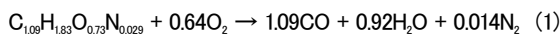


図2 RDFによる燃焼試験
Fig. 2 RDF Combustion Test Device

4.1.2 燃焼解析への反映

前述の考察から石炭燃焼の反応機構¹⁾を基にして、都市ごみの燃焼反応をモデル化した。表3、表4に示す都市ごみの分析結果から灰分及びS、Clを除いた値を使用して、式(1)、(2)に示す二段階総括反応を導出し、燃焼解析に反映した。



なお、式(1)に示す可燃性ガス(C_{1.09}H_{1.83}O_{0.73}N_{0.029})には、表3に示す低位発熱量に相当する生成エンタルピーを与えた。本解析では、このシミュレーション用の可燃性ガス(C_{1.09}H_{1.83}O_{0.73}N_{0.029})により、ごみ層から発生する可燃性ガスを模擬した。

また、式(2)の化学反応速度として、式(3)に示すアレニウス型反応式²⁾を使用した。

$$-d[CO]/dt = 3.98 \times 10^{16} \cdot [CO]^{10} \cdot [H_2] \cdot [O_2]^{0.25} \cdot e^{-4000/RT} \quad (3)$$

表2 熱分解ガスの測定結果

Table 2 Result of Pyrolysis Analysis

| 項目 | 単位 | H ₂ | CO | CH ₄ |
|------------|----|----------------|----|-----------------|
| 発生ガス量の体積比率 | % | 56 | 33 | 11 |

表3 都市ごみの工業分析の結果

Table 3 Result of Chemical Composition Analysis of Municipal Solid Waste

| 項目 | 単位 | データ |
|-------|-------|-------|
| 水分 | wt-% | 34.21 |
| 揮発分 | wt-% | 52.76 |
| 灰分 | wt-% | 13.03 |
| 低位発熱量 | kJ/kg | 9211 |

表4 都市ごみの元素分析の結果

Table 4 Result of Element Analysis of Municipal Solid Waste

| 項目 | 単位 | データ |
|----|------|-------|
| C | wt-% | 25.36 |
| H | wt-% | 3.58 |
| O | wt-% | 22.64 |
| N | wt-% | 0.78 |
| S | wt-% | 0.03 |
| Cl | wt-% | 0.34 |

4 - 2 3次元解析モデルの作成と計算条件の適正化

4.2.1 3次元解析モデルの作成

図3に3次元解析モデルの概要を示す。実炉の都市ごみ焼却炉と同等スケール(高さ26.6m、炉長さ13.8m、炉幅3.5m)であり、ごみ層上部からボイラーの第2パスまでを計算領域とした。数値拡散が少なく、メッシュ数を少なくできるヘキサメッシュを全計算領域に適用し、二次空気及びEGRが流入する燃焼室に配置するメッシュ数を増やすことで、計算の発散を抑制した。メッシュの直行品質は0.59以上であり、メッシュ数は約600万メッシュである。

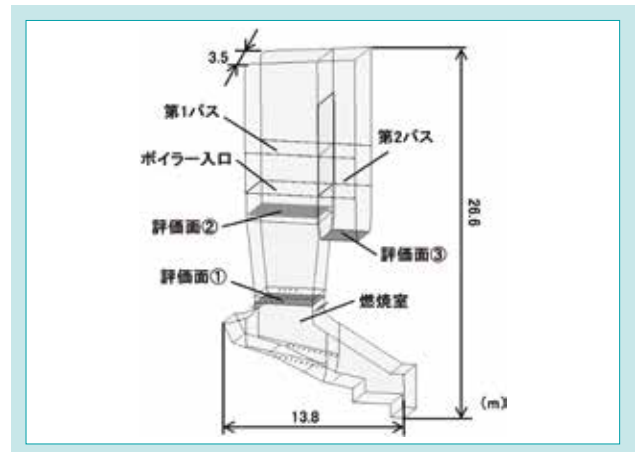


図3 解析モデルの概要

Fig. 3 Schematic of Three-dimensional Combustion Analysis Model

4.2.2 計算条件の適正化

図4にガス流入口の配置を示す。一次空気は乾燥帯・燃焼帯・後燃焼帯に分配して流入する。二次空気の流入口は前壁側、後壁側に各8本(本解析では全て使用)、左壁側、右壁側に各4本(本解析のEGR条件では赤枠の各2本を使用)、EGRガスの流入口は左壁側、右壁側に各10本(本解析のEGR条件では赤枠の各4本を使用)を対向に配置している。乾燥帯・燃焼帯・後燃焼帯の可燃性ガス量は実験データから仮定し、一次空気と合わせた組成の混合ガスを流入条件として与えた。

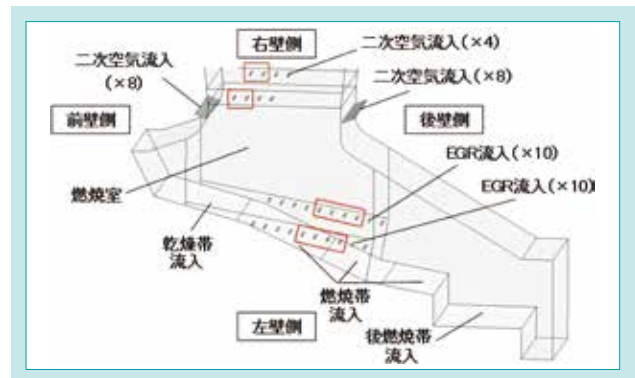


図4 ガス流入口の配置

Fig. 4 Positions of Gas Injection Ports

本解析では、汎用熱流体解析ソフトFluent19.2を使用し、RANS(Reynolds Averaged Numerical Simulation)を用いた定常解析を実施した。乱流モデルにはRealizable $k-\epsilon$ モデルを使用した。また、乱流燃焼モデルには、化学反応速度と乱流混合速度の小さい方を優先とする有限速度反応モデルを適用し、式(3)に示す反応式を組み込んだ。

焼却炉内では、都市ごみの燃焼反応に伴う輻射伝熱が発生し、また生成した排ガスは水蒸気及び炭酸ガスを多く含むため、これらのガスの吸収率を考慮する必要がある。本解析では、輻射伝熱モデルには離散座標モデルを、輻射に影響を与える水蒸気及び炭酸ガスの吸収率は灰色ガスモデルを適用した。また、実炉ではボイラー吸熱等の炉壁面を介した熱損失が生じる。そこで、実験データ等から推定した壁面条件を設定し、炉壁面を介した熱損失を考慮した。

4.2.3 各評価面の解析結果

表5に各評価面の解析結果を示す。この表5に示すように、開発した燃焼解析技術により、開発目標値を達成できることが検証できた。

図5に温度分布の比較を示す。(a)はEGRなしの通常運転であり、(b)はEGR条件による低空気比運転の結果である。(a)で発生している炉内高温部が、(b)では低温化しており、EGR条件の効果を可視化することができる。

表5 各評価面の解析結果

Table 5 Combustion Analysis Summary and the Result (EGR Condition)

| 項目 | 解析結果 | |
|------------------------|---------------------|--------|
| 解析範囲 | 実炉のごみ層上部からボイラーの第2パス | |
| 計算時間 | 1日以内/1条件(並列コア数128) | |
| 焼却炉内の 予測温度 (面平均) | 評価面① | 1060°C |
| | 評価面② | 850°C |
| | 評価面③ | 580°C |

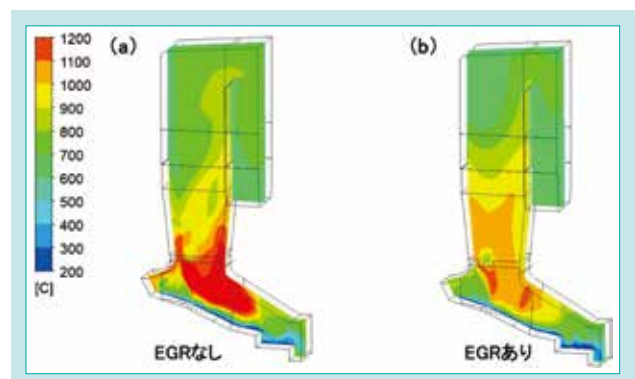


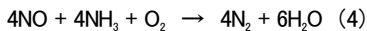
図5 温度分布の比較

Fig. 5 Comparison of Temperature Distribution in Incinerator

4-3 実炉試験による有効性の検証

4.3.1 SNCR試験と解析結果の比較

実炉かつ実際の都市ごみを使用した試験で、開発した燃焼解析の有効性を検証した例として、SNCR試験での運転条件の決定を挙げる。図6にSNCR試験の概要を示す。SNCR試験では、対向に設けたNH₃噴霧ノズル(4箇所)より、燃焼室の上部から焼却炉出口に向かう排ガスにNH₃を吹き込む。NH₃は下式(4)に示す脱硝反応により、NO_xを還元する。



上式(4)の反応は800℃以上の温度が必要である。一方で、1000℃以上ではNH₃が酸化され、NO_xとして排出されてしまう。そのため、温度の影響を強く受ける。また、過剰に噴霧すると、未反応のNH₃が放出され、白煙の原因となる。これをリークNH₃と呼ぶ。このSNCR試験において、NO_xは低減するが焼却炉出口のリークNH₃濃度が高く、目標値とした5ppmを超える課題があった更に、焼却炉出口のNO_x測定時に、NH₃の噴霧位置より燃焼室側でNO_xが低下する現象が確認された。この現象の原因を解明するため、本解析により焼却炉内の排ガス流動を可視化した。図7に燃焼室上部の排ガス流動の解析結果を示す。図7に示すように燃焼室上部において、ボイラーの第1パスに及ぶ渦流が発生していることが判明した。図7に前述のNO_x測定値をプロットした。この解析結果より、前述の現象の原因は、渦中に未反応のNH₃が滞留し、排ガス中のNO_xとNH₃の反応が不十分となり、焼却炉出口から未反応のNH₃が流出することが原因ではないかと推察した。

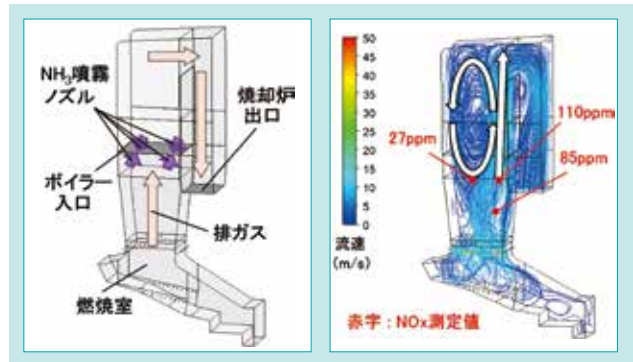


図6 SNCR試験の概要
Fig. 6 Scheme of SNCR Test in Actual Incinerator

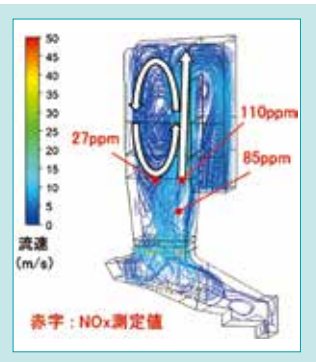


図7 燃焼室上部の排ガス流動
Fig. 7 Exhaust Gas Flow in the Upper Part of the Combustion Chamber

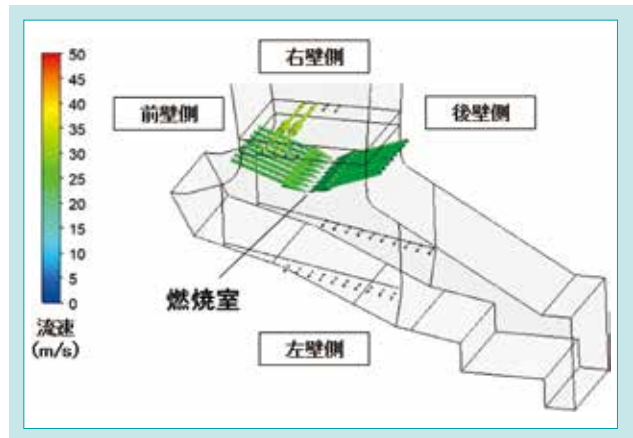


図8 二次空気流入の速度ベクトル図
Fig. 8 Velocity Vectors Around Secondary Air-injection Ports

4.3.2 渦防止対策の検討

図8に二次空気流入の速度ベクトル図を示す。実炉では炉内(燃焼室)の攪拌混合を促進し、一酸化炭素及びNO_x発生を抑制するため、運転条件によっては二次空気の流入速度は数10m/sに達する。図8より、燃焼室中央部において、前壁側、後壁側から対向に流入する二次空気が衝突することが分かる。一様な二次空気の流れが衝突することにより、後壁側寄りを通るシート状の流れが発生し、大規模渦が形成されるという仮説を立てた。この仮説から、渦防止対策の検討のため、二次空気の吹込方法を、以下の2つの目的で変更した。

①二次空気の強弱吹き(混合促進)

図9に示すように、対向する二次空気に強弱をつけ、衝突する箇所をずらすことで混合を促進した。これにより、二次空気の流れを分散し、渦を巻きにくい流動状態となるようにした。

②風量比の制御(排ガスの整流)

図10に示すボイラー入口の前壁側(A)、後壁側(C)の測定温度(●)がほぼ同じとなるよう、二次空気の前壁側、後壁側

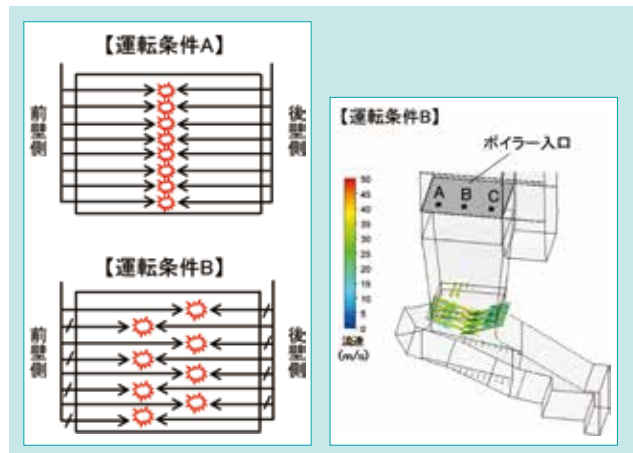


図9 二次空気の吹込方法変更
Fig. 9 Comparison of Two Secondary Air-injection Methods

図10 風量比の制御
Fig. 10 Air volume ratio control

の風量比を制御した。これにより、排ガスの整流を図った。

なお、対策前を【運転条件A】、①、②による対策後を【運転条件B】とした。

4.3.3 渦防止対策効果の解析による検証

図11に渦防止対策の効果を示す。(a)燃焼室上部の排ガス流動と合わせて、(b)ボイラー入口部の温度分布を示す。【運転条件B】による渦防止対策により、排ガスが渦を巻く現象が解消していることが分かる。これにより、図6に示すNH₃噴霧ノズルにおいても、前壁と後壁の間を排ガスが渦を巻くことなく流れることが期待できる。また、ボイラー入口の温度分布については、【運転条件A】は後壁側(C)に高温部が偏り、800°C未満の低温部が中央部(B)から前壁側(A)にかけて広がる不均一な温度分布を形成する。それに対して、【運転条件B】では、800°C未満の低温部が少なくなり、より均一な温度分布を形成できることが分かる。この結果から、式(4)に示す脱硝反応に適した温度域(800°C以上)をより広く分布させることができると予測した。

4.3.4 リークNH₃低減効果の検証

表6は、SNCR試験にて渦防止対策の制御を切った場合(【運転条件A】)と、制御を入れた場合(【運転条件B】)のボイラー入口部の温度とリークNH₃濃度の測定結果である。【運転条件A】では、図11と同様に高温部が後壁側(C)に偏り、前壁側(A)では800°C未満の低温部が生じている。この熱流動状態が原因で脱硝反応が不十分となり、リークNH₃が5ppmを超えやすいと推察できる。【運転条件B】については、前壁側(A)、中央部(B)、後壁側(C)ともに800°Cを超え、図11の解析結果と同様に均一な温度分布となっており、脱硝反応に適した熱流動状態になっていることが分かる。リークNH₃濃度は1~2ppmであり、目標値である5ppm以下を達成することができた。また、【運転条件B】により、図7と同様のNO_x測定を行った結果、NH₃の噴霧位置より燃焼室側でNO_xが低下する現象がなくなることも確認できた(図11)。

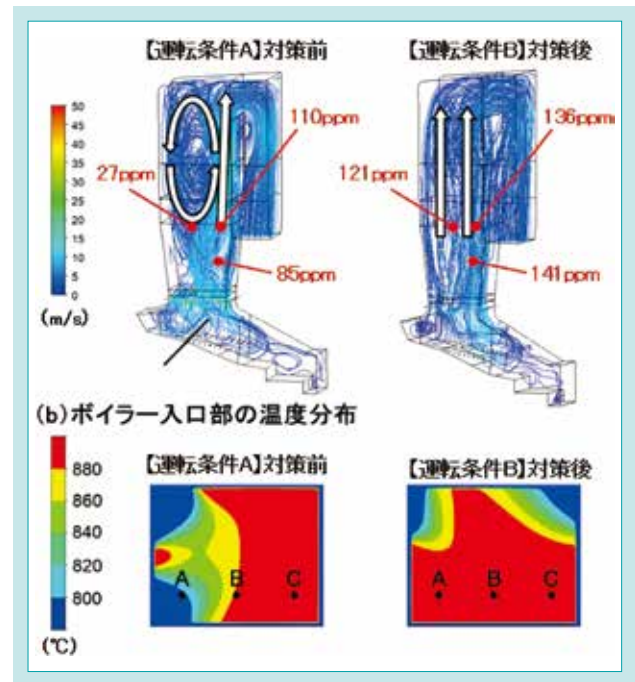


図 11 渦防止対策の効果

Fig. 11 Suppression Effect of Vortex Generation

表 6 リーク NH₃ の低減効果の検証※1
Table 6 Verification of Reduction in Leaked NH₃

| 項目 | ボイラー入口部の温度(°C) | | | リークNH ₃ (ppm-12%O ₂) |
|---------|----------------|---------|---------|--|
| | 前壁側(A) | 中央部(B) | 後壁側(C) | |
| 【運転条件A】 | 742~768 | 825~836 | 842~864 | 3~10 |
| 【運転条件B】 | 803~827 | 873~882 | 844~856 | 1~2 |

※1 3回の測定結果

この実炉のSNCR試験で発生したリークNH₃の課題解決により、開発した燃焼解析技術の有効性を検証することができた。

5. おわりに

本開発では、都市ごみの模擬試料による燃焼試験、及び燃焼反応の絞り込みを燃焼解析モデルに反映することにより、技術課題であった計算時間の短縮化と温度予測精度向上を両立した。そして、実炉及び実際の都市ごみを使用したSNCR試験にて、開発した燃焼解析技術の有効性を検証できた。現在、実炉設計や実炉試験計画時において、本燃焼解析を活用した設計検討を実施して

いる。都市ごみ焼却炉は試作検証が困難であり、解析で製品性能を予測したい要望が強く、実現象を把握できる解析技術の更なる高度化を図っていく必要がある。これにより、都市ごみ焼却炉について、高効率化、省エネなどの多様な視点から課題を抽出し、それらの解決に取組み、地球環境保全はもとより社会の持続性確保に貢献していく所存である。

SDGs のターゲットへの貢献

7.a エネルギー関連インフラへの投資促進 ごみ発電の高効率化による温室効果ガス削減への貢献

12.4 製品ライフサイクルを通じた廃棄物の管理の実現 排ガス処理の高度化による大気汚染物質排出抑制への貢献

参考文献

- 1) Ansys® Fluent, リリース 2019R2, Help System, 17.4.5. 拡散燃焼モデルによる石炭燃焼のモデル化, Fluentユーザーガイド, ANSYS, Inc.
- 2) 広川雅俊他, 都市ごみ焼却炉内の熱流動解析((第2報)), 環境工学総合シンポジウム講演論文集, Vol.3(1995)

ポンプゲートの全速全水位機能と診断機能の開発

Development of the Full-speed, Any-water Level Operation Function and Diagnostic Function for Pump Gate System

水環境開発第一部

近年、局地的集中豪雨による浸水被害が増加している。早急な浸水対策が求められる中、短工期、低コストといった利点から、既存の水路に止水ゲートと一体の水中ポンプを設置するポンプゲートが注目されている。一方で、ポンプゲートは条件によっては水位の変動が激しく運転停止頻度が過剰になること、晴天時に水が貯められず管理運転ができないことといった課題がある。クボタは、これまでポンプゲートの普及に貢献してきたが、これらポンプゲートの課題を解決し、より信頼性の高い設備を実現するため、新たな機能を開発した。本稿では開発した全速全水位機能と、空運転にてポンプの健全性を把握できる診断機能に関して、その内容と有効性について述べる。

【キーワード】

局地的集中豪雨、浸水対策、ポンプゲート、水中ポンプ、管理運転

In recent years, flood damage due to localized torrential rain has increased. As urgent action is required, integrating the pump gate that contains the drainage pumps with the water stop gate in an existing waterway is attracting attention because of the advantages of shortening the construction period and reducing costs. On the other hand, depending on the conditions, the pump gate has the following problems: the water level fluctuates over a wide range and the frequency of operation suspension becomes excessive, water cannot be stored in fine weather, and management operations cannot be performed. Kubota has contributed to the widespread use of pump gates, but has developed new functions to solve these problems and to provide more reliable equipment. In this paper, we introduce the details and effectiveness of the developed full-speed, any-water level operation function and the diagnostic function that can ascertain the soundness of the pump in idle operation.

【Key Word】

Localized Torrential Rain, Flood Prevention, Pump Gate System, Submergible Pump, Management Operation

関連する SDGs



1. はじめに

気象庁の統計によると、「猛烈な雨」に分類される時間降水量80mm以上の発生回数は過去30年間で約1.7倍に増えており¹⁾、局地的な集中豪雨による水害発生リスクが高まっている。

ポンプゲートとは、ゲートに水中ポンプを組み込み、ポンプ能力、止水能力等を一体の構造にパッケージ化した雨水排水施設であり、ポンプゲート、除塵機等の付帯施設を既存水路に設置す

ることを基本としている。従来型の雨水排水施設のようにバイパス水路を設ける必要がないため、広範な用地確保を不要とできることが特長であり、建設工期が短くコスト面でも有利であることから、中小規模の雨水排水施設に適用されている(図1、2参照)。

一方で、狭い水路にポンプを設置することから、ポンプ吸込側の水位の変動が激しく、ポンプの運転停止頻度が非常に多くなる

チャタリング現象を起こす場合がある。その対策としてインバータによりポンプの回転速度制御運転を行うことが多いが、インバータは高価であり、しかも比較的寿命が短く故障リスクも高いという問題があった。この問題を解決するためには、吸込側の水位が低下しても全速で運転を継続する全速全水位運転により、運転停止頻度を下げる必要があった。

雨水排水ポンプは、万一機能が損なわれた場合に周辺地域に与える社会的・経済的影響が極めて大きいので、機能を維持するために適切な維持管理を行うことが重要である。通常は大雨

により河川水位が大きく上昇しない限り運転しない非常用設備であるため、定期的に正常に動作するかどうかを確認する管理運転を行うことが原則である。しかしながら、ポンプゲートにおいては、設備の構造上、水を溜めることができず管理運転をすることが困難な場合が多い。また、管理運転を行えたとしても運転状態が短時間で大きく変化するため、ポンプの状態を把握することは困難であった。

これらの課題を解決すべく、全速全水位機能と診断機能の開発を行った。



図1 ポンプゲートの運用方法
Fig. 1 Operation Method of Pump Gate

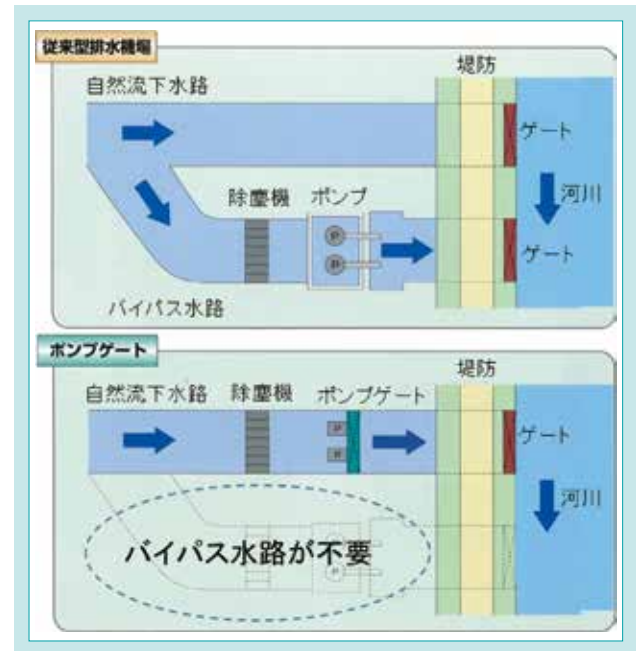


図2 従来型排水機場とポンプゲートの形状
Fig. 2 Shape of Conventional Drainage Pump Station and Pump Gate

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

2.1.1 全速全水位機能

ポンプの吸込水位が低下しても、水位に応じて適量の空気を取込むことで、運転状態を変化させつつ全速での運転を継続する。水位が再上昇した際には排水を再開する。

- ① チャタリング現象の解消、インバータ不要
- ② スムーズな運転状態の切替え

2.1.2 診断機能

ゲートを上げたままでポンプを空運転する無水管理運転を行い、運転時のデータからポンプの健全度を診断することで、排水不能となるような重大な故障を未然に防止する。

- ① 無水管理運転の実現
- ② 運転データから、ポンプの健全度を診断
- ③ 安価でシンプルなシステム

2-2 開発目標

2.2.1 全速全水位機能

- ① ポンプは全速運転したまま、吸込水位の増減に伴って、排水待機運転、気水混合排水運転、全量排水運転に連続的に移行し、不安定現象が発生しないこと
- ② 排水待機運転を1時間以上継続できること

2.2.2 診断機能

- ① 診断に必要な時間の空運転が可能なこと
- ② 無水管理運転により、主要な故障リスクに対して健全度を診断できること
- ③ 監視設備との連携が不要なシステム構成

3. 解決すべき技術課題

3.1.1 全速全水位機能

クボタでは約30年前から立軸陸上ポンプの全速全水位運転で多くの採用実績があるが、水中ポンプにおいてはこれまで実績がなかった。下記に技術課題を挙げる。

- ① 空気の入込みによるスムーズな運転状態の切替え
- ② 異常振動、異常発熱の回避

3.1.2 診断機能

クボタでは約20年前から立軸陸上ポンプ向けの故障診断システムを提供しているが、水中ポンプの空運転に適した診断アルゴリズムが必要であった。下記に技術課題を挙げる。

- ① 故障リスク分析
- ② 各種診断手法の確立
- ③ 診断システムの構築

4. 開発技術

4-1 全速全水位機能

4.1.1 スムーズな運転状態の切替え

全速全水位運転を実現するためには、全速運転のまま排水量をコントロールする必要があり、空気を取込むのが最も容易な方法である。採用した形式は、図3に示すように、吸込カバーの後部壁に切欠きを設けることにより、水位低下に応じて徐々に空気の入込み量を増やして排水量を低下させる気水混合運転方式である。この方式の利点は、運転状態が徐々に切り替わるため負荷変動が小さいこと、水位低下に伴って排水量が減少することで、水位低下時に有害な渦の発生を回避することが挙げられる。更に水位が低下して空気の入込み量が増加すると、排水を行わない排水待機運転の状態に移行する。

図4に全速全水位試験におけるポンプの運転状態を示す。水位の低下とともに、気水混合運転に移行し、排水待機運転に至るまで排水量や消費電力がスムーズに減少する。排水待機運転中は、水路の水位を低く保ち続け、再度水路への流入量が増加して水位が上昇した際には、再び気水混合排水運転に移行する。

4.1.2 異常振動、異常発熱の回避

空気取込みにより最も懸念されることは、ポンプ振動の増大である。空気と水は、その密度が約1000倍も違うため、空気の混入は羽根車内流体にアンバランスを生じさせる。そのため、振動をいかに抑えるかが重要なポイントとなるが、空気を取り込む形状の工夫により、図4に示すように気水混合運転時の振動増加を抑制した。また、締結ボルトの緩み止め対策等の構造的工夫を取り入れ、ポンプとして信頼性の高い安定した運転を実現した。

排水待機運転中は、羽根車の回転によりポンプ内部の水を攪拌、置換することでモータやメカニカルシールが冷却される構造であるため、排水待機運転中の温度上昇は非常に小さく1時間以上運転を継続することが可能である。

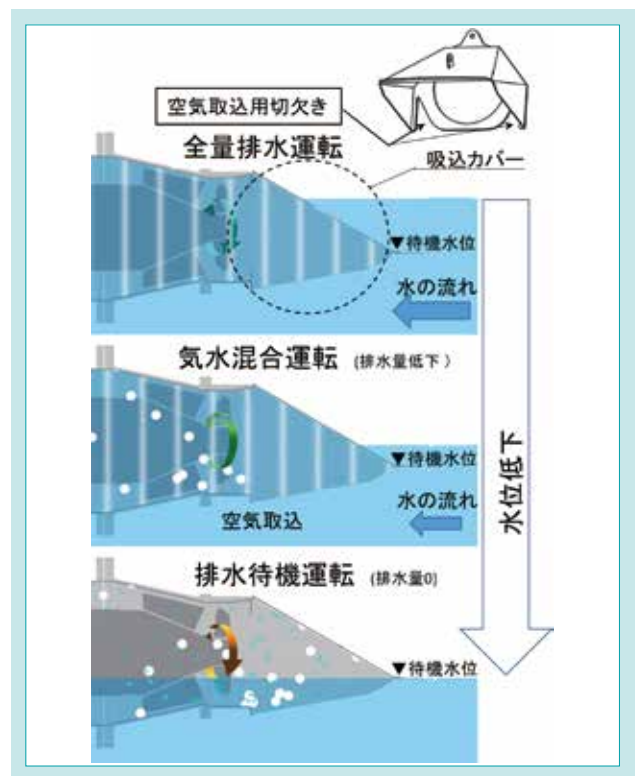


図3 水位と運転状態の変化

Fig. 3 Relationship Between Water Level and Operating Condition

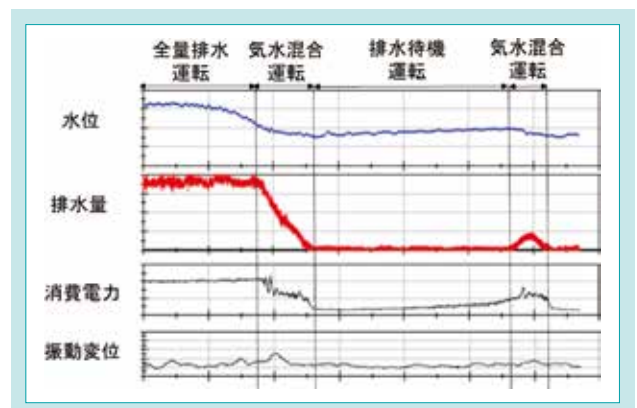


図4 全速全水位運転試験結果

Fig. 4 Test Result of Full-speed Any-water Level Operation

4 - 2 診断機能

4.2.1 故障リスク分析

ポンプゲートを含む大型の水中ポンプにおいて、排水不能となるような重大な故障を引き起こす部位ごとの故障内容と原因を図5に示す。

主要な故障部位は、モータ、ケーブル、メカニカルシール、羽根車の4カ所である。

- (1) モータ、ケーブル:水中で使用することから、シール部や保護部の損傷による水の侵入リスクがあり、絶縁抵抗が低下することで、最終的には漏電に至る。
- (2) メカニカルシール:潤滑油を封入し、モータへの浸水を防ぐものであるが、経年的な微小漏れやシール機能の低下により潤滑油量が低下する。潤滑油量が著しく低下すると、メカニカルシールが損傷し、モータ浸水に至る。
- (3) 羽根車:腐食の進行による固着やゴミの絡みつき、異物の噛みこみにより、運転した際に過電流が生じる。

これらの排水不能につながる重大な故障を未然防止するため、早期に故障の兆候を検知するための診断手法を検討し、故障状態を模擬的に作りだした試験のデータ分析により、無水管理運転での診断に最適な診断手法を検討した。以下に、開発した診断技術について述べる。

4.2.2 起動電流診断

水中ポンプに内蔵する三相誘導モータには、起動直後の加速中に大きな電流が流れる特性がある。起動電流の大きさはモータの特性により決まるが、起動電流の流れる時間は、回転体の負荷トルク及び慣性モーメントによって変化する。空運転時は通常、負荷トルクと慣性モーメントはほぼ一定であり、負荷トルクは回転体各部の摺動(こすれあう状態)による摺動トルクがほとんどを占める。固着や異物噛みこみの兆候がある場合、この摺動トルクが増加することに着目したのが起動電流診断であり、起動時の電流データから摺動トルクを推定するものである。

図6に示すように、ポンプを2回続けて起動停止させ、そのときの電流データからそれぞれの起動時間とインターバル時間を演算する。さらにその起動時間比率から2回目起動時の回転速度及び摺動トルクを推定する。

図7にインターバル時間を変えた場合の回転速度推定結果を示す。インターバル時間によって2回目起動時の起動時間及び回転速度が変化するが、摺動トルクが同一の条件では、起動時間比と起動時回転速度の関係が1本の直線上に載っており摺動トルクが同等であると推定できることを示している。一方、摺動トルクを増加させた場合は、直線上から外れる。この手法により、摺動トルクを精度よく推定することが可能であり、固着や異物噛みこみの予兆を診断できる。

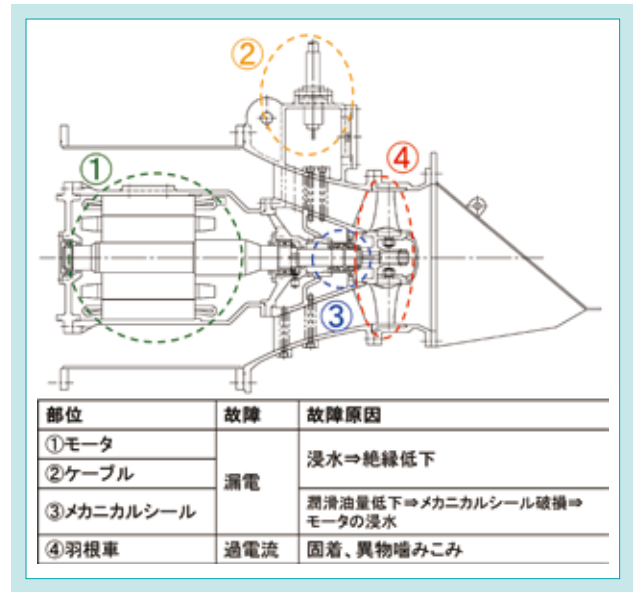


図5 ポンプの主要な故障部位と原因
Fig. 5 Major Pump Failure Parts and Causes

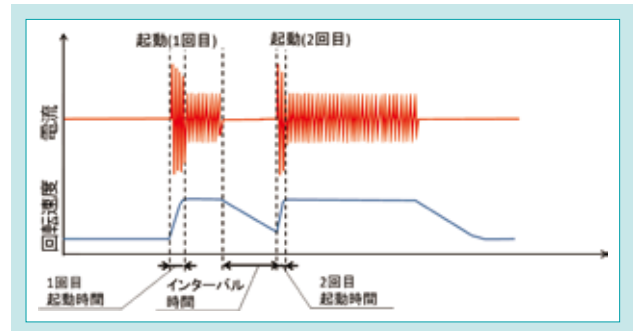


図6 ポンプ起動時の電流と回転速度の変化
Fig. 6 Current and Rotational Speed at Pump Start-up

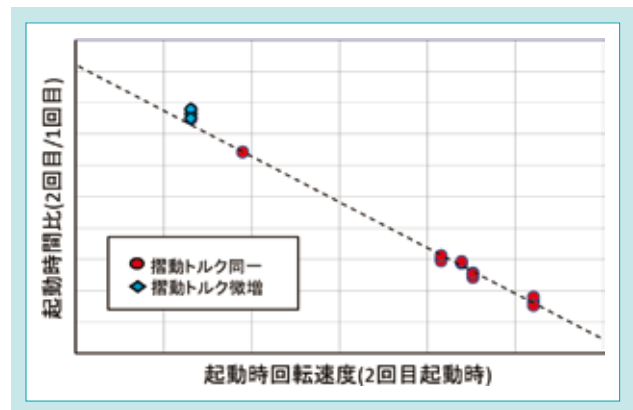


図7 回転速度推定結果
Fig. 7 Contour Diagram of Temperature Distribution

4.2.3 電流波形診断

三相誘導モータの電流波形は、電源周波数を基本周波数とする正弦波であるが、モータ軸に異常負荷がかかると、モータの回転子が偏心し電流波形に僅かな乱れが生じる。モータとポンプは同一の軸であるため、ポンプに異常が生じると電流波形の乱れとして現れる。電流波形を周波数分析することにより得られる特徴量の変化を捉えることで、ポンプの異常を検知するのが電流波形診断である。

図8にポンプ回転体に種々のアンバランスを付加した際のアンバランス量と電流波形の分析により得られた特徴量の算出結果を示す。2つの特徴量共にアンバランス量に比例して増加する。なお、この特徴量は、回転体のアンバランスのほか、羽根車の先端が摺動(干渉した場合にも増加するが、羽根車の干渉の場合は、起動電流診断による摺動トルクの増加も生じるため、切り分けが可能である。

これにより、ポンプのアンバランスの増加や羽根車への異物の噛みこみの度合いを検出することが可能である。

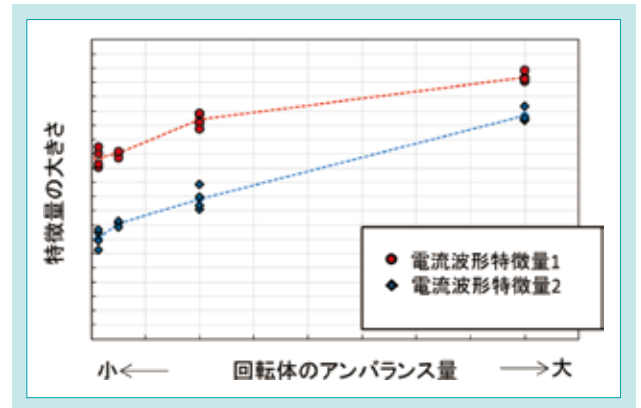


図8 ポンプ回転体のアンバランスの影響

Fig. 8 Effect of Pump Rotor Unbalance

4.2.4 潤滑油温度診断

水中ポンプには、モータ室内へ水が浸入しないようダブルメカニカルシールが用いられ、メカニカルシールの両シール面の間には潤滑油が封入されている。シール面では微量の漏れが生じるため、潤滑油を定期的に点検、交換することを推奨しているが、万一、潤滑油量が低下してシール面がドライになると、異常発熱によりメカニカルシールが破損する恐れがある。本システムでは、潤滑油の温度から潤滑油量の低下度合いを検知するシステムを採用している。

図9に、潤滑油量の差異による温度変化量を示す。温度は、日射等様々な環境条件の影響を受けるため、種々の環境条件にて温度変化傾向を確認したが、潤滑油量が十分な場合は、ポンプ停止後も温度変化がごく僅かであり、潤滑油量が一定量以上低下すると、温度低下が大きくなることが明確に確認できた。

なお、無水管理運転の時間は数分程度と短く、異常発熱することはないが、本システムではメカニカルシール潤滑油の異常温度上昇に対する警報機能も有している。

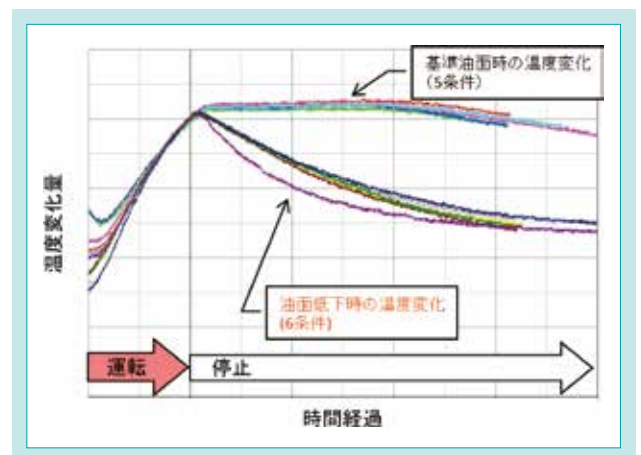


図9 メカニカルシール潤滑油温度

Fig. 9 Lubricating Oil Temperature of Mechanical Seal

4.2.5 診断システム

本システムは、上記の診断と絶縁抵抗診断を含めて4つの診断により構成しており、ポンプの主要な故障リスクに対して、数分間の無水管理運転を行うことで健全度評価することが可能である。

診断システムを安価でシンプルな構成とするため、本システムではタブレット端末を用いており、設備点検時のタブレット端末の操作によって、無水管理運転時のデータ収録、

収録データの前処理と、診断のためのKSIS(Kubota Smart Infrastructure System)クラウドサーバへの転送までを行うこととしている。これにより、機場の監視設備との連携を不要としている。監視設備はユーザ毎に中央監視やクラウド監視等様々な方式がとられているが、ここに診断機能を組み込むにはそれぞれの設備に応じた改造が必要になるため、監視装置と連携を行わないシステム構成とした。

KSISクラウドサーバでは、先に挙げた診断技術を用いて独自のノウハウをインプットした診断アルゴリズムを実装したAI(Artificial Intelligence)による診断を行い、診断結果をWEBページで表示する。図10にシステム構成を示すが、専用回線を用いていないため、ユーザの保有するタブレット端末を使用すれば、本診断システムの使用料等のランニングコストは不要である。

また、本システムは、無水管理運転による診断と合わせて、排水運転時に一部のデータも自動的に収録するため、KSISクラウドサーバへ転送することにより排水運転時間や排水運転時の電流値等も帳票として確認することができる。

そのほか、点検者による点検記録をKSISクラウドサーバに登録することにより、クラウド上の点検記録台帳として一括管理することも可能である。



図 10 診断システム構成
Fig. 10 Diagnostic System Configuration

5. おわりに

全速全水位機能と診断機能を付加したポンプゲートの新たなシリーズをラインナップに追加した。全速全水位機能については既に納入済みのものもあり、診断機能についても今後の出荷製品に搭載していく予定である。

今後の施設管理においては、長期的な視点で施設全体の老朽化の進展状況を考慮し、優先順位付けを行ったうえで、点検・調査・修繕・改善を実施し、施設管理を最適化するストックマネジメントが求められている。そのため、健全度評価により適切な整備、更新時期を判断する状態監視保全の必要性が高まっている。これまで健全度評価を行う場合は熟練の技術者の知見によるところが大きかったが、本診断機能により、定量的な指標にて健全度評価を行うことが可能となる。

クボタでは、今後も様々な設備に対して、ハード面での対策はもちろんのこと、ICT(Information and Communication Technology)やAI技術を活用したソフト面での対策により、設備のさらなる信頼性の向上、ライフサイクルコストの低減、省人化といった課題に取り組み、人々の生活を支えるインフラの持続性確保に貢献していく所存である。



図 11 ポンプゲートの SG シリーズ
Fig. 11 New Pump Gate, SG Series

SDGs のターゲットへの貢献

9.1 質の高い持続可能かつ強靱なインフラの開発 ポンプゲート設備の信頼性の向上に貢献

11.5 災害による死者・被災者の削減、経済的損失の減少 ポンプの健全度評価により、確実な排水機能維持を実現

参考文献

1) 気象庁:「大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化」

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html、(参照日 2020-10-14)

浄水用セラミック膜ろ過装置(フィルセラHD)の開発

Development of FILCERA HD -Ceramic Membrane Filtration Equipment for Drinking Water Treatment Plants

水環境開発第二部／水環境開発第一部
環境プラント設計調達部／水環境ソリューション開発部

河川表流水を原水とする浄水場では、近年の気候変動に伴う急激な原水濁度の変動への対応を求められている。更に東日本大震災の経験から、大規模地震への備えも重要視されるようになった。その一方で、人口減少による水道料金収入の減少や技術職員の不足が深刻となっている。これらを背景に、厚生労働省は新水道ビジョンの中で「安全」「強靱」「持続」を水道の理想像として掲げている¹⁾。クボタはこれを実現するために、浄水処理を自動化しやすいという膜ろ過法の特徴を更に活かせるように、原水の濁度変動への対応力を飛躍的に向上させたセラミック膜ろ過装置(フィルセラHD)を開発した。本稿では、この装置の設計思想や性能・耐久性の評価などについて紹介する。

【キーワード】

浄水、セラミック膜、膜ろ過、高濁度、安定運転、逆洗、耐久性、耐震性

Water treatment plants using river surface water as raw water have found it necessary in recent years to cope with the rapid changes in the turbidity of raw water due to climate change. After the Great East Japan Earthquake, the importance of preparing for large-scale earthquakes has also been emphasized. At the same time, the declining population has led to a decline in water bill revenues and a shortage of technical staff. Against this backdrop, the Ministry of Health, Labour and Welfare has set "safety" "resilience" and "sustainability" as the ideal image of water supply in its new water supply vision. To achieve it, we have developed ceramic membrane filtration equipment (FILCERA HD) with dramatically improved responsiveness to changes in the turbidity of raw water. This equipment takes advantage of the characteristic of the membrane filtration method, which facilitates the automation of water treatment. This paper introduces the design concept, performance and durability evaluation.

【Key Word】

Water Purification, Ceramic Membrane, Membrane Filtration, High Turbidity, Stable Operation, Backwash, Durability, Earthquake Resistance

関連する SDGs



1. はじめに

近年、河川表流水を原水とする浄水場では、気候変動に伴う大型台風やゲリラ豪雨による、原水濁度の急激な変化への対応を迫られている。更に、東日本大震災などでライフラインとしての水道の重要性が再認識され、大規模地震への備えも求められるようになった。一方で、人口減少による水道料金収

入の減少や技術職員の不足が深刻な課題となっている。これらの背景から、厚生労働省は新水道ビジョンの中で、水質の「安全」、自然災害時に対しての「強靱」、安定した運営の「持続」を水道の理想像として掲げている。

膜ろ過法とは、微小な孔を無数に持つ膜に圧力差を与えて

原水を透過させ、濁質や病原性微生物を物理的に分離する浄水方法である。その原理上、膜ろ過法は原水の状態によらずろ過の水質を確保できるため、運転の自動化が容易であり、省人化による水道事業の「持続」への貢献が期待できる。

一方で、膜ろ過法には、運転に伴って膜面に捕捉される濁質などを定期的ろ過水を逆方向に流すことによって排出(逆洗)する必要があるが、原水濁度が急激に上昇すると濁質が完全に排出されず、原水流路が閉塞する恐れがある。特に流

路が狭い膜仕様の場合はそのリスクが高く、装置仕様によっては運転停止を余儀なくされる。

そこでクボタは、省人化に適した膜ろ過の長所を生かしつつ、原水濁度への対応力を飛躍的に向上させ、「安全」な浄水が得られる膜ろ過装置(フィルセラHD)を開発した。本稿では、この装置の設計思想、性能・耐久性の評価方法に加え、「強靱」の観点から重要性が高まっている耐震性の評価についても紹介する。

2. 開発のコンセプトと目標値

2-1 開発のコンセプト

開発コンセプトは、水道ビジョンが掲げる「安全」、「強靱」、「持続」をもとに、急激な濁度変動時にも安定運転が可能で、かつ、少人数でも維持管理できる膜ろ過装置とした。

これを実現する膜ろ過装置(以下、開発機)の外観を図1に、仕様を表1に示す。膜ろ過装置は、膜エレメント4本収納の膜モジュールをステンレスフレームに64台搭載している。このフレーム材には管材を適用することで原水やろ過水のヘッダー管の機能も兼ねている。膜エレメントの材質は耐薬品性、機械的強度に優れるセラミックスを採用した。膜エレメントを収納した膜モジュールの流路断面を図2に示す。形状は集積配置に適した矩形(スクエア型)とした。内面が膜層で覆われた原水流路を2列ずつ配置し、その間に、集水スリットを設けている。

膜モジュール内のろ過時と逆洗時の流れ方向を図3に示す。ろ過時には、膜層を透過した膜ろ過水が近傍の膜エレメント外周及び集水スリットを経て集水される。逆洗時には、逆洗水が膜エレメント外周及び集水スリットを経て膜層のろ過水側から各原水流路へ供給され、剥離した濁質等とともにエアパージによって下方へ排出される。

逆洗により原水流路の濁質の大半は排出できるが、膜間差圧は増大していく。この膜間差圧が所定の値に達した場合、薬品洗浄によって回復させる必要がある。

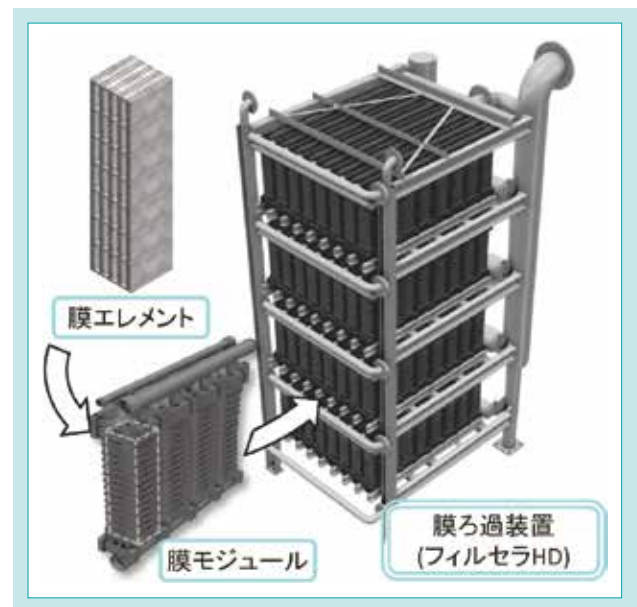


図1 開発機の外観

Fig. 1 Appearance of the Developed Membrane Filtration Equipment

表1 開発機の仕様
Table 1 Specifications

| | |
|----------|--|
| 通水方式 | 内圧式 |
| ろ過方式 | 全量ろ過 |
| 洗浄方式 | 逆洗 + エアパージ |
| 膜の種別 | MF (精密ろ過) |
| 膜面積 | 【膜ろ過装置】 128 m ² 【膜モジュール】 2 m ² |
| 寸法 | 【膜ろ過装置】 幅1050×奥行1450×高さ2800 mm 【膜モジュール】 幅120×奥行530×高さ500 mm |
| 膜モジュール重量 | 10 kg (空) |

水道用膜モジュール規格 認定番号第 507 号
技術認定登録番号 浄技認第 10027 号

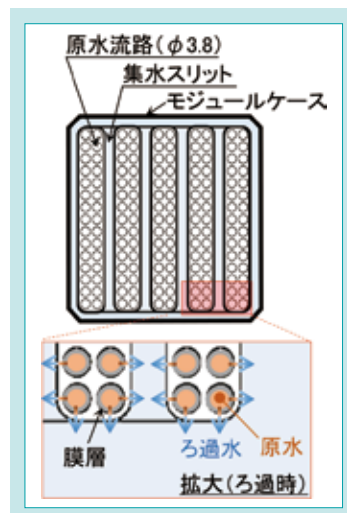


図2 膜モジュールの流路断面
Fig. 2 Cross-section of the Flow Path

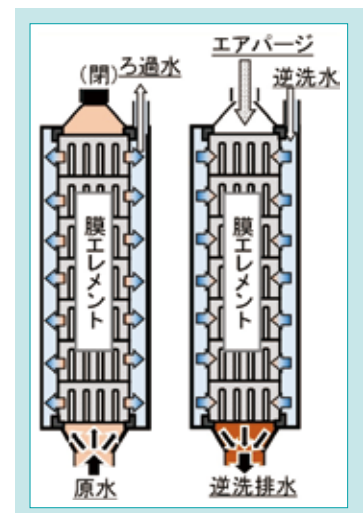


図3 膜モジュール内の流れ
Fig. 3 Internal Flow of the Module

2-2 目標

上記コンセプトに対し、目標を以下のように設定した。

- (1) 急激に原水濁度の変動しても安定運転できること
- (2) 膜ろ過装置の維持管理を容易にすること
- (3) レベル2地震動*に対し、損傷、修復が軽微にとどまること

*当該施設の設置地点で発生が予想される最大規模の地震動

(1)を実現すれば装置の自動化が容易になり、維持管理の省人化に寄与する。更に薬品による洗浄の頻度が少なくなれば、ランニングコストに大きなウェイトを占める薬品洗浄費を大幅に低減することも可能である。

(2)も(1)と同様、維持管理の省人化に貢献する。これを実現する手段として、例えば、膜モジュールを取扱性の良い軽量小型サイズとすることで、膜モジュール交換作業用の天井クレーンとその維持管理を不要とする。また、消耗部品となるガスケットの耐久性を高めることでその定期交換作業も不要とする。

(3)について、膜ろ過装置は重要な水道施設であるため、想定される地震に対して、軽微な被害は生じてもその機能保持が求められる。しかしながら膜ろ過装置についての耐震性を評価した事例は少ない。そこで水道施設耐震工法指針・解説²⁾にしたがって目標を設定した。

3. 解決すべき技術課題

3-1 膜エレメントの適切な流路構造

高濁度時に対しても膜ろ過装置の安定運転を実現するためには膜エレメントの流路構造が重要であり、これにはろ過の均等性と逆洗時の濁質排出性が要求される。前者は、各原水流路で均等にろ過することで、急激な濁度変化による膜面への負荷を分散させることができる。後者は、濁質を原水流路に残留させないことで流路閉塞の防

止に寄与する。

一般的に、膜エレメントは原水流路が密集して配置されているものが多いが、この構造がろ過及び逆洗に適しているか詳細に検討した例は少ない。よって、原水濁度変動への適応力を高めるためには、より適切な原水流路構造を検討して膜エレメント設計に反映する必要があった。

3-2 モジュールケースの耐久性

膜モジュールの交換作業を、天井クレーンを使用せずに容易に行うために小型化・軽量化をねらい、モジュールケースの材質には、膜エレメントを収納する本体に樹脂、シール材にゴムを採用した。この樹脂化における課題は、運転時の圧力負荷や薬品洗浄で使用する薬品に対する

耐久性であった。中でもシール材のゴムは、装置の弱点となりうる構成部品であり、劣化による頻繁な交換を要すると維持管理費の増大を招くことになる。そのため、各種耐久試験によって耐久性を評価し、より耐久性の高いシール材を選定・採用することは必須であった。

3-3 装置の耐震性評価

水道施設の耐震性評価方法には、動的評価と静的評価があるが、実際の挙動把握という面では、対象とする現物そのものを用いた振動試験による動的評価が望ましい。しかし、装置全体を振動試験装置に掛けることは、大きさ

や重量の点で困難であった。したがって、地震動によって装置に生じる最大の振動とその発生箇所を特定し、そこに焦点を当てることによって、実施可能な規模によるできるだけ実際の振動を模した振動試験を行う必要があった。

4. 開発技術

4-1 膜エレメントの適切な流路構造

4.1.1 流路構造の設計

流路構造は下記の思想のもとで設計した。

- (1) 逆洗時に、膜層表面で堆積・固形化した濁質が排出されやすいよう、原水流路内径を大きくとる
- (2) ろ過時には原水、逆洗時には逆洗水が、各原水流路になるべく均等に流れる流路構造にする

具体的には、図2に示した通り、原水流路の径を比較的大きなΦ3.8 mmとし、集水スリットと原水流路の間を透過する際の抵抗をなるべく等しくするために、全ての原水流路が集水スリットに隣接するよう配置した。

以降に、これらの設計思想に基づく改良流路構造の効果について解析と実証実験によって検証した結果を報告する。

4.1.2 解析による評価

前項で新たに考案した改良流路構造と、当初設計していた流路構造(以下、当初流路構造)に対して、解析上で原水あるいは逆洗水に所定の圧力を与え、各原水流路の流れの状況を比較した。なお、当初流路構造は、集水スリット配置のみが改良流路構造と異なるもの(原水流路5列毎に集水スリットを中央に配置)である。

図4は、膜エレメントの上下端面におけるろ過時の原水及び逆洗時の排水について、解析結果を各流路の流速コンター図で表したものである。比較すると、ろ過時、逆洗時とも、当初流路構造は各流路の流速が改良流路構造より不均等であった。特に逆洗時の当初流路構造では、濁質とともに速やかに下端面側に排出されるべき逆洗水が、一部の流路で上端面側へ流れていることがわかる。

以上から改良流路構造は、当初流路構造よりもろ過の均等性と濁質の排出性が良好となり、安定した運転が可能になると考えられた。

4.1.3 実証試験による評価

改良流路構造の膜エレメントを搭載した開発機の膜ろ過性能を、河川表流水を原水とした実証試験によって評価した。図5に処理フローを示す。なお、このフローに除濁目的の前処理設備は設けていない。

1) 長期連続運転試験による評価

開発機を約4か月間連続で運転し、その安定性を検証した。膜面積あたりの処理水量(膜ろ過流束)は $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ とし、3時間毎に逆洗を行った。

運転期間中の原水濁度及び逆洗間のろ過継続時間における膜間差圧を平均化した値(平均膜間差圧)の推移を図6に示す。平均膜間差圧の上昇は、原水濁度が急激に上昇した際も低く抑えられており、ほとんど変化が見られなかった。このことから、開発機は濁度変動のある実際の原水に対して安定運転が可能であることを確認できた。

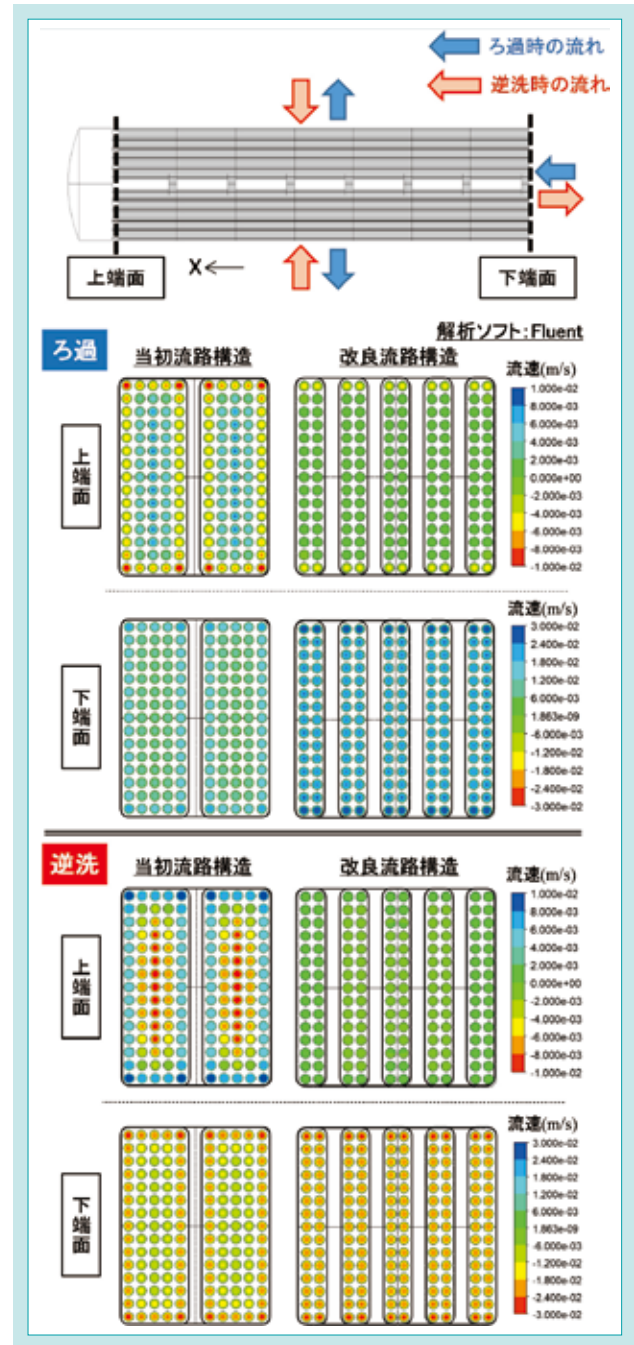


図4 各流路断面の流速コンター図
Fig. 4 Velocity Contour of Each Channel Section

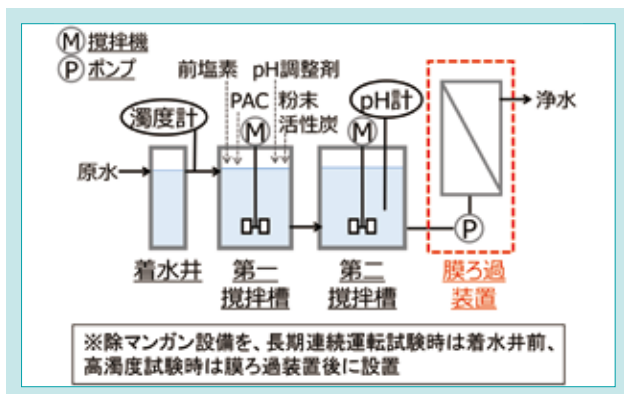


図5 処理フロー
Fig. 5 Process Flow

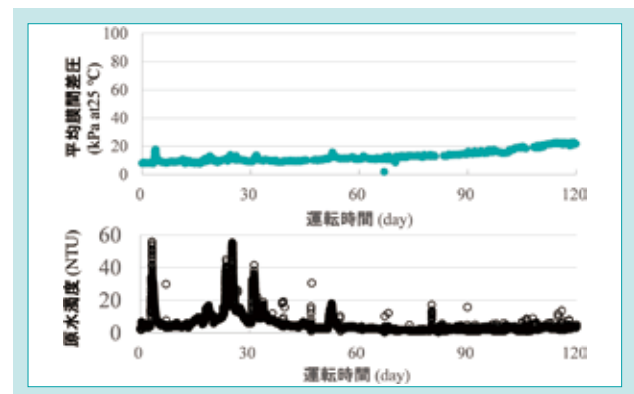


図6 長期運転時の平均膜間差圧
Fig. 6 Mean Transmembrane Pressure During Long Time Operation

2) 高濁度試験による評価

更に高濁度の原水への適応性を検証するため、河川表流水に取水口付近の泥土を添加した原水による試験を実施した。濁度1000度以上に調合した原水で10時間程度運転した後、濁度100度程度での運転を続けた。この試験では、ろ過継続時間3時間あるいは膜間差圧50 kPa超で自動逆洗を行う運転方法とした。

原水濁度と膜間差圧の推移を図7に示す。濁度1000度以上ではろ過継続とともに膜間差圧が一時的に上昇したが、逆洗のたび膜間差圧は確実に回復し、逆洗直後の膜間差圧(ベース差圧)は試験開始時と変わらなかった。

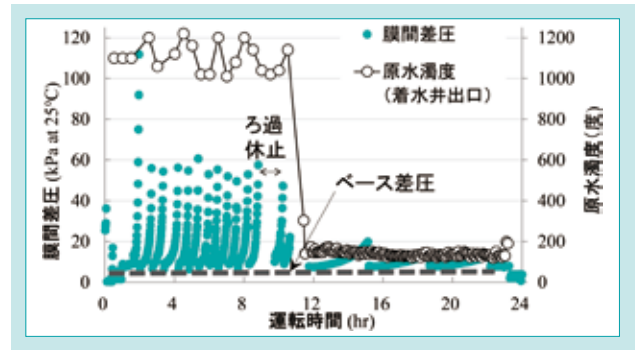


図7 高濁度試験時の膜間差圧

Fig. 7 Transmembrane Pressure During High Turbidity Test

3) 水質試験による評価

試験時の原水及びろ過水の水質試験結果の抜粋を表2に示す。膜ろ過水(浄水)は全て水質基準を満たしていた。また、マンガンは処理フローに除マンガン設備を追加することで定量下限未満まで除去することができた。

表2 水質試験結果

Table 2 Water Quality Test Results

| 項目 | 水道水質基準 | 単位 | 長期連続運転試験 | | 高濁度試験 | |
|---------|---------|------|-------------|----------|-------|--------|
| | | | 原水 | 浄水 | 原水 | 浄水 |
| 濁度 | ≤2 | 度 | 0.5 ~65 | <0.1 | 1100 | <0.1 |
| 色度 | ≤5 | 度 | 1.5 ~8.4 | 0.5 ~0.9 | 2300 | <0.5 |
| マンガン(総) | ≤0.05 | mg/L | 0.006 ~0.15 | <0.005 | 1.57 | <0.005 |
| 鉄(総) | ≤0.3 | mg/L | 0.06 ~2.2 | <0.03 | 72.4 | <0.03 |
| TOC | 3以下 | mg/L | 0.7 ~4.4 | 0.4 ~1.5 | 69 | 0.3 |
| 味 | 異常でないこと | — | — | 異常なし | — | 異常なし |
| 臭気 | 異常でないこと | — | 異常なし | 異常なし | 土臭 | 異常なし |

以上より、改良流路構造を採用した開発機は、平常時の濁度変動のみならず、非常に高濁度の原水に対してもベース差圧の上昇を抑えた安定した運転を実現できた。

4-2 モジュールケースの耐久性

膜モジュールの構成部品の長寿命化には、薬品洗浄に用いる硫酸及び次亜塩素酸ナトリウムに対する耐久性と、ろ過・逆洗工程で発生する内圧への耐久性が必要である。本報では特に化学的・機械的な劣化が生じやすいゴム製シール材の選定について紹介する。

た。この結果、シール材Cの耐用年数2.4年に対し、シール材Dは15年以上を見込めたため、これを採用とした。

4.2.1 耐塩素性試験

材質や製造工程の異なる同形状の4種のシール材候補A~Dについて、影響が強く懸念される次亜塩素酸ナトリウムに対する耐久性を調査するため、耐塩素試験を実施した。これは60°Cに調温した塩素水にサンプルを浸漬し、所定時間経過後に硬度の低下と綿棒で擦った時の付着量を確認する試験⁹⁾である。その結果、シール材A、Bには劣化が見られたことから不採用とした。

4.2.3 繰り返し耐久試験

シール材Dを膜モジュールに組み込んだ状態でろ過、逆洗時の圧力を交互に加える繰り返し耐久試験を実施したところ、15年相当分以上の繰り返し負荷を与えてもシール材を含めた膜モジュールに破損は見られなかった。

4.2.2 熱劣化試験

次に、自然劣化を評価する熱劣化試験を実施した。まず、使用状況を再現したシール材を高温下に置いて劣化を促進させ、温度条件ごとに機能を損なうまでの時間(耐久年数)を得た。これにより温度と耐久年数の相関(アレニウスプロット)を取得し、使用温度での耐久年数を予測し

以上の試験結果より、シール材Dを採用することで膜モジュール全体の耐久性を確保し、長寿命化による交換頻度の低減が可能となった。

表3 シール材の選定方法

Table 3 Selection Method of Seal Material

| シール材 | A | B | C | D |
|----------|-------------|-------------|----------------|------------|
| 硬度 | 68度 | 73度 | 60度 | 61度 |
| 耐塩素試験 | × | × | ○ | ○ |
| 熱劣化試験 | - | - | 耐久年数 2.4年 | 耐久年数 15年以上 |
| 繰り返し耐久試験 | - | - | - | 耐久年数 15年以上 |
| 評価 | × 耐塩素性不足 | × 耐塩素性不足 | × 自然劣化が早く進行 | ○ 採用 |

4-3 装置の耐震性評価

4.3.1 評価方法の概要

まず、地震の振動データを入力とした周波数解析により、地震によって装置に生じる最大の振動(加速度、周波数帯)とその発生箇所を特定した。次に、この振動を実機の使用状態を模擬した膜モジュールに与え、破損や脱落の有無を確認した。以下に各手順の詳細と結果を述べる。

4.3.2 周波数応答解析による評価

打診試験で膜モジュールを搭載した満水状態の膜ろ過装置について固有値を求めたのち、解析上で、東日本大震災で最大の振動が観測された岩手県大船渡市の振動データ⁴⁾を図8に示すX、Y方向にそれぞれ与えた。その結果、図8に示す箇所最大の振動(加速度 16.6 m/s^2 、周波数 5 Hz 程度)が生じることが判明し、これをもとに振動試験時に入力する振動条件を決定した。

4.3.3 振動試験による評価

振動試験の様子を図9に示す。実機の装着方法を模擬した満水の膜モジュールに振動試験装置(IMV(株)製 J250/SA6M)で振動を与えた。入力振動は、X、Yの2方向に加速度 20 m/s^2 、周波数 5 Hz とし、振動時間は上記振動データのピーク継続時間 3.7 秒を超える 10 秒とした。その結果、膜モジュールに破損や脱落は生じず、目標としたレベル2地震動にも十分に耐えられることを確認できた。

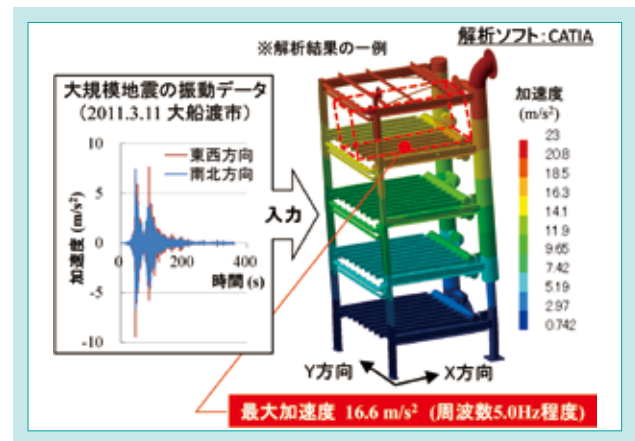


図8 周波数解析の結果

Fig. 8 Results of the Frequency Analysis



図9 振動試験

Fig. 9 Vibration Test

5. おわりに

本開発では、適切な流路構造を採用することにより、濁度上昇時にも安定した運転が可能となった。更に、耐久性を確保しつつ膜モジュールの小型化・軽量化を可能にしたことで、維持管理の省人化に寄与した。更に、地震によって実際に膜ろ過装置に生じる振動を模した耐震性評価により、想定される最

大規模の地震にも耐えられることも確認した。

これらの結果から、この膜ろ過装置(フィルセラHD)が水道事業体の掲げる理想像である「安全」「強靱」「持続」を実現する一助となり、安心できる水の供給によって持続可能な社会に貢献すると確信する。

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 安全な水の生産により衛生環境向上に貢献
- 6.1 安全で安価な飲料水のアクセス強化 災害時にも安定した水の供給に貢献
- 6.5 統合水資源管理の実施 自動化による省人化で広域化にも対応する管理体制構築に貢献

参考文献

- 1) 厚生労働省:新水道ビジョン(2013).
- 2) 社団法人日本水道協会:水道施設耐震工法指針・解説 2009年版 pp.104-111.
- 3) 社団法人日本水道協会:JWWA B120 水道用ソフトシール仕切り弁 付属D(2017).
- 4) 気象庁HP:強振動波形(平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震)
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouki/index.html、(参照日2020-10-12)

樹脂製排水集合管の開発

Development of Plastic Single Stack Drain Fitting

株クボタケミックス 研究第一部

建築業界では、人手不足による人件費の高騰、熟練工の高齢化、建築コストの削減等多くの課題に直面している。クボタグループでは、このような課題解決のために、延焼防止機能を備えた鋳鉄製排水集合管や樹脂製排水立て管の開発に取り組み、排水立て管や排水横管に、安価で施工性の良い塩ビ管の使用を可能としてきた。近年、市場のニーズは更に進んで、防火区画を貫通する鋳鉄製排水集合管の樹脂化を含めた、排水配管全ての樹脂化が求められるようになってきている。本稿では、排水管のオール樹脂化を目指した樹脂製排水集合管の開発について報告する。

【キーワード】

排水管、耐火性能、防火区画、遮音

The construction industry faces many challenges such as soaring labor costs due to labor shortages, aging skilled workers, and reduction of construction costs. To solve these problems, the Group has been working on the development of cast iron single stack drain fitting and resin drainage vertical pipes with a fire spread prevention function. As a result, it has become possible to use inexpensive and easy-to-install PVC pipes for vertical and horizontal drainage pipes. In recent years, the needs of the market have further advanced, and there has been a demand for plasticization of all drainage pipes, including plasticization of cast iron single stack drain fittings penetrating the fire protection section. In this paper, we report on the development of a plastic single stack drain fitting with the aim of making the drainage pipes all-plastic.

【Key Word】

Drain Pipe, Fire Resistance, Fire Compartment, Sound Insulation

関連する SDGs



1. はじめに

マンションの排水立て管では、排水集合管継手が広く採用されている。多くは鋳鉄製で、防火区画を貫通して設置されるため、法令上、接続される配管には、耐火二層管や金属管を使用する必要があった。クボタグループでは、これらの配管に安価で施工性の良い樹脂管の使用を可能とするために、2007年に延焼防止機能付排水集合管(鋳鉄製)¹⁾、2012年に延焼防止機能付排水立て管(樹脂製)、2018年に延焼防止機能付脚部継手(鋳鉄製)²⁾を開発した。耐火試験により国交大臣認定・消防性能評定を取得することで、排水立て管・排水横枝管・排水横主管に塩ビ管の使用を可能とし、排水管の樹脂化を推進してきた。

近年、市場のニーズは更に進んで、排水集合管を含めた排水配管全ての樹脂化が求められるようになってきている。ある大手デベロッパでは、大規模修繕工事の負担軽減のため、新築時に高耐久部材・工法を採用することで、大規模修繕を長周期化するという取り組みを進めている。この中で、専有部内の排水管は、継手部分も含めて、軽量で耐食性、耐薬品性に優れた樹脂管が採用され、仕様化されている。

このような市場の変化に対応するために、クボタグループでは排水管のオール樹脂化への取り組みを進めており、今回、樹脂製排水集合管を開発したので、その技術を紹介する。

2. 開発のコンセプト

樹脂製排水集合管を開発するにあたり、機能上、重要課題としたのは、耐火性能と遮音性能である。

排水集合管は防火区画を貫通して設置されるため、貫通部からの火災の延焼を防ぐために耐火性能は必須である。今回、ホテルや賃貸住宅などへの展開を視野に入れ、薄い床厚に対応できる耐火性能を目標とした。このために、熱膨張材による閉塞技術を採用し、床スラブ内での完全閉塞の実現を目指した。

樹脂は鉄に比べ密度が低いため、同等の厚みの場合、音響透過損失が低くなる傾向にあり、遮音対策が重要となる。樹脂製排水集合管においては、①旋回羽根が設置されており、床スラブに埋設される下部テーパ部の振動を抑える(制振対策)、②床スラブへ振動が伝わるのを抑制する(防振対策)、③放射音を抑える(遮音対策)、の3つを開発のポイントとし、競合他社より優れた遮音性能を目標とした。

3. 技術の説明

樹脂製排水集合管の耐火材の構成を図1に示す。発泡倍率の異なる2種類の熱膨張材を用いて形状保持性と高発泡倍率を両立させるとともに、外側をロックウールシートで覆うことで熱膨張材の落下を防止した。耐火試験後の集合管内部(完全閉塞)と加熱側(集合管下部)の状況を図2に示す。床スラブ内での完全閉塞の実現により、競合他社製排水集合管の対応床厚が100mm以上であるのに対し、75mmという薄い床厚まで対応可能とした。

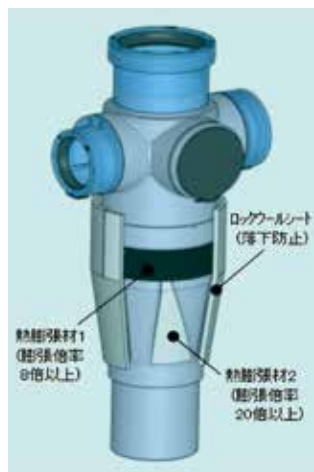


図1 耐火材の構成
Fig. 1 Composition of Refractory Material

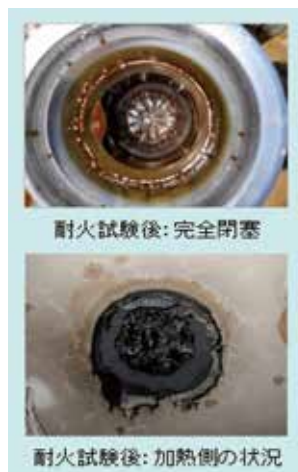


図2 耐火試験後の状況
Fig. 2 Situation After Fire Resistance Test

遮音材の構成を図3に示す。内側から、①制振遮音材で本体の振動抑制と遮音、②ロックウールシートで吸音・防振、③ゴムカバーで遮音・防振・止水という、3層構造の遮音被覆とした。今回開発した樹脂製排水集合管と競合他社2製品(樹脂製)の排水騒音を測定した結果を図4に示す。床スラブに埋設したうえで、それぞれ専用の後巻き遮音カバーを設置した状態で測定し、競合他社製品と比較して5dB以上騒音レベルが低いことを確認した。



図3 遮音材の構成
Fig. 3 Composition of Sound Insulation Material

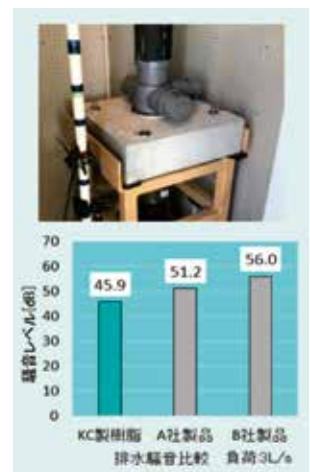


図4 騒音測定結果
Fig. 4 Noise Measurement Result

4. おわりに

建築業界では、軽量で低コストなことから様々な分野で樹脂化が進んでおり、クボタグループでも現在、樹脂製排水集合管に続

き、脚部ベンドの樹脂化を計画している。今後も建築現場の課題とニーズを汲み取り、解決に貢献する所存である。

SDGsのターゲットへの貢献

- 8.2 イノベーションを通じた生産性の向上 耐火二層管に対し、40%以上軽量の塩ビ管により作業性の向上に貢献
12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 耐火二層管が不要となり、切断時の粉塵や切断後の廃材削減に貢献

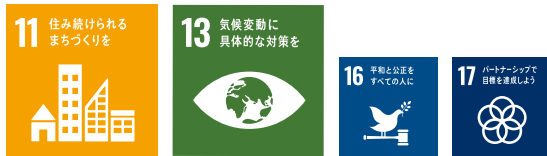
参考文献

- 1) 外山敬之ほか:「延焼防止機能付排水集合管の開発」、クボタ技報、42号、(2008)、pp.64-71
2) 八木博史ほか:「延焼防止機能付脚部継手の開発」、クボタ技報、52号、(2018)、pp.92-93

浸水災害の復旧に貢献する排水ポンプ車の紹介

Introduction of Drainage Pump Vehicles to Assist Restoration Work Following Severe Flooding

関連する SDGs



1. はじめに

近年では、台風の大型化やいわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる局地的な大雨が全国各地で発生し、浸水により、社会経済や人々の生活へ深刻な影響をきたす事例が増加している。国土交通省にて公表している時間雨量50 mm以上の豪雨の発生回数では、昭和50年代は年平均174回だったものが平成20年代には平均238回となり、30年で約1.4倍に増加している。

この状況に対し、国の施策として示されている「下水道による総合的な浸水対策」のもと、計画的な浸水対策への取組が推進されてきたが、全国各地で大規模な浸水被害が発生し

た。2019年度に、きめ細かな浸水対策を更に推進するため、「下水道浸水被害軽減総合事業」に排水ポンプ車の整備が支援メニューに追加され、また地区要件の緩和がなされた。

また、総合流域防災事業においても、合流先河川の影響を受け排水が困難となる市町村管理の河川が存在することから、機動的かつ柔軟な排水を実現するため、移動式排水施設の整備が交付対象に同年追加されるなど、排水ポンプ車という製品への注目とニーズが高まっている。

2. 排水ポンプ車とは

排水ポンプ車とは、大型トラックの荷台に水中ポンプ・動力(PTO、発動発電機等)・制御装置・ホース等が積載されている移動式の排水機である。

浸水対策として整備される排水ポンプ場の排水能力を大きく上回る降雨により、浸水が想定される、若しくは発生した場合に、排水ポンプ車を現場に配置し排水作業を行うことで、被害の未然防止、また浸水状態の早期解消をはかる。

特に大規模な浸水被害が発生した場合には、浸水状態を早期に解消させることが、都市機能の早期復旧につながる。

近年の活動事例では、国土交通省HP等でも紹介されており、2020年の台風19号、2019年の平成30年7月豪雨でも多くのポンプ車が早期復旧に向けて排水作業に当たっている。

また、未だ記憶に新しい東日本大震災時には、津波被害により浸水した市街地や空港など、様々な場所で都市機能の復旧に向け、排水ポンプ車が活躍した。この事例では、津波で携帯電話の基地局が破損。通常の災害であれば移動基地局が

現場に急行し仮復旧するが、移動基地局自体が現場に近づけない状況であった。排水ポンプ車による排水作業が進むことで、移動基地局が現場に到達し携帯電話が順次復旧した。



図1 ポンプ車出動状況(国土交通省写真提供)
Fig. 1 Drainage Pump Vehicles Operating Photo

3. 排水ポンプ車開発の経緯、搭載技術

3-1 開発初期

クボタの排水ポンプ車は1990年代前半に防災対策需要を受け開発に着手した。大型トラックの荷台に水中ポンプや排水ホース、発電機などを搭載している。

その後、1998年の平成10年8月末豪雨を契機として、浸水リスクの高い未対策地区における緊急対策として機動性を有する排水ポンプ車の有効性が見直され、現在の国土交通省(当時の建設省)での導入が増加したことによって、国内でも広く活用されることにつながった。

開発当時は、トラックの荷台に設置した陸上ポンプで汲み上げた水の力を用いて排水用の水中ポンプを稼働させるタイプや、ポンプにクローラー機構を取付け、設置場所まで自走できるタイプなど、様々なタイプのポンプ車が投入された。

その中で多く採用されていたのが、口径400 mmの大型水中ポンプをクレーン等で設置するようなタイプであった。大型の水中ポンプを稼働させるため、動力は発電機だけでは対応できず、トラックのエンジン機構より動力を取り出すPTO機構を備えていた。



図2 開発初期の排水ポンプ車
Fig. 2 Early Drainage Pump Vehicle

3-2 軽量水中ポンプを搭載した排水ポンプ車の開発

大型の水中ポンプを搭載した排水ポンプ車は、強風下ではクレーンでのポンプ設置が困難な場合があるなどの制約や、PTO操作の難しさ、騒音の大きさ、排ガスの問題などがあり、より柔軟な対応が可能で環境に配慮したポンプ車の開発が求められた。

そこで人力で水中ポンプ、ホースの設営を行えるように、ポンプは口径200 mm、アルミ合金を採用することで軽量化(約35 kg)を実現し、動力は低騒音で操作が容易な発動発電機を採用した排水ポンプ車を開発した。



図3 軽量水中ポンプ
Fig. 3 Lightweight Pump

現在、排水ポンプ車は排水量が $30 \text{ m}^3/\text{min}$ ~ $60 \text{ m}^3/\text{min}$ 、車両総重量は8 t~22 tのラインナップとなっているが、基本的には全ての排水ポンプ車でこのタイプの軽量水中ポンプと発動発電機を採用している。

なお、排水量 $30 \text{ m}^3/\text{min}$ というのは、一般的な25 mプールを約10分で空にできる能力である。

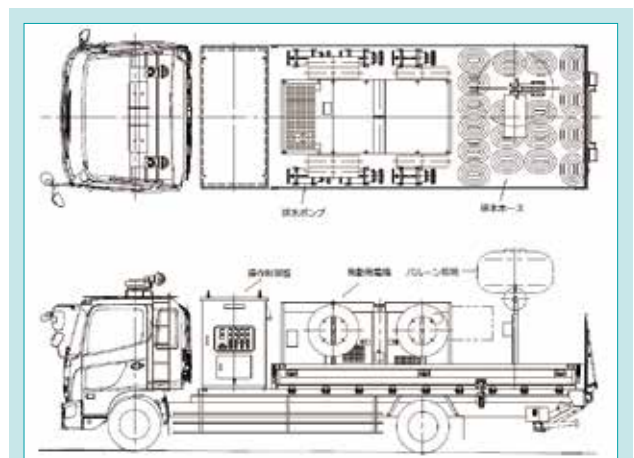


図4 現在の排水ポンプ車(30 m^3/min 級)
Fig. 4 Current Drainage Pump Vehicle

3-3 排水ポンプ車の改良、追加技術の開発

近年、排水ポンプ車の出動機会及び導入台数の増加に伴い、改良、開発要望が多くあがってきており、特に要望の多かった下記の技術を開発し、ラインナップに加えている。

① 低水位までの排水機能: 道路等での排水作業への適用拡大

排水ポンプ車は、主に国土交通省にて導入してきた歴史から、河川での利用を主として考えられてきたが、アンダーパスの浸水への対応や、地方公共団体における都市部浸水への対応の増加を受け、車両通行が可能な水位(約8 cm)まで排水が可能な水中ポンプの開発が行われた。

この低水位排水が可能な軽量水中ポンプの登場により、都市部での排水も必要とする地方公共団体においても排水ポンプ車の採用が増加した。



図5 低水位排水ポンプ
Fig. 5 Low Water Level Pump

② ポンプの直列接続機能: 活用場面の拡大

水中ポンプの能力として揚程10 mという制限があるが、『移動式』という特性から、使われる場面が多様であり、排水先までが遠いケースもあり、能力(揚程)が不足するケースがある。そこでポンプを2台直列に接続できるように改良し、能力(揚程)を倍増させることを実現した。

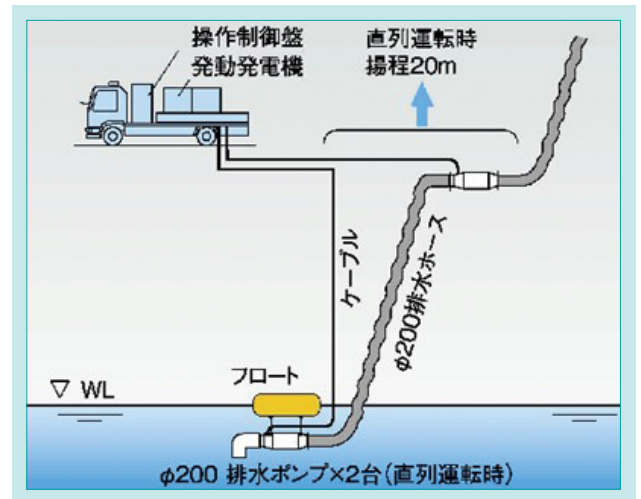


図6 直列接続ポンプ
Fig. 6 Tandem Pump

③ 8 t車両を用いた排水ポンプ車

地方公共団体での排水ポンプ車採用増加に伴い、従来大型免許を要する22 t・11 t車両によるポンプ車ではなく、中型免許(一定年齢以上は普通免許)で運転が可能な8 t車両を用いたポンプ車へのニーズが高まった。排水能力をそのままに8 t車両への適用を実現するため、積載機器の更なる軽量・コンパクト化と、特殊インバーターを採用することで実現した。

4. 関連製品の紹介

① 排水ポンプパッケージ

地方公共団体での採用が進むにつれ、車両維持費の問題が顕在化した。発電機を除く積載品のみパッケージングし、有事の際に車両と発電機をレンタルすることで、仮の排水ポンプ車を準備できる排水ポンプパッケージを開発した。

なお、排水ポンプパッケージの排水能力は最大10 m³/minと排水ポンプ車に比べて少なくなっている。

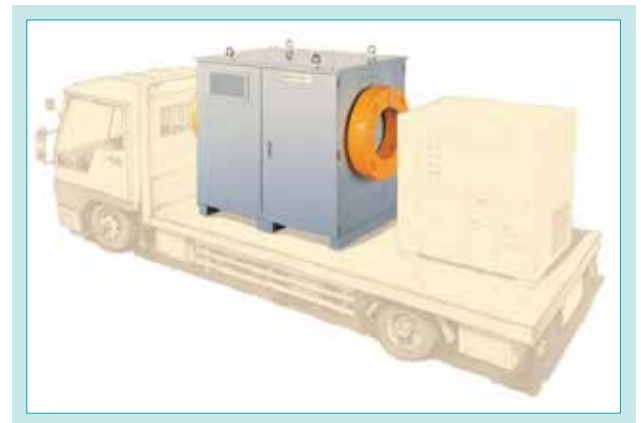


図7 排水ポンプパッケージ
Fig. 7 Drainage Pump Package

② 排水ポンプユニット

更には車両等のレンタルが困難なケースに対応するため、ライトバンに搭載品をそれぞれ積み込めるように細分化した排水能力が $5.0 \text{ m}^3/\text{min}$ の排水ポンプユニットを開発した。

特に中小地方公共団体での採用が増加している。



図 8 排水ポンプユニットと搭載例
Fig. 8 Drainage Pump Unit

5. おわりに

地球温暖化の影響で降雨量は更に増加し、1級河川での洪水発生リスクは今世紀末には平均で4倍にもなるとの検討結果もある。

あくまでも試算結果ではあるが、近年急激に浸水被害をメディア等でみる、若しくは実体験として経験するケースが増えていることから、定量的な判断は困難であるが、身近で大きな脅威であると感じる方は多いと思う。

ただ、公助の色合いの強い治水対策においては、財政面での制約も加味した対応が求められる。排水機場の増強や新規設置などには長い時間と大きな費用負担が必要であり、早期に効率的な雨水管理を強化するためには排水ポンプ車が効果的であると考ええる。

これは、近年の地方公共団体での排水ポンプ車採用増加からも感じることができる。

一方で、様々な方に本製品を採用頂くことで、多様な条件下で稼働することから顕在化するニーズがある。一例としては、

排水ポンプ車を遠隔で監視し、操作をしたいというものである。国土交通省でも検討が進む機能であり、ハードとソフトを組合せて、排水ポンプ車という技術、製品をより安全に、効果的に活用するためのニーズである。この様に、これまでのハード面(ポンプ車自体)の改良・開発だけではなく、ソフト面での開発を進めハードと融合させ、その効果を高めていく必要がある。

その一つとして、近年の気象予測技術等の進展で、浸水リスクのシミュレーションが高度化している。クボタグループにおいても、流域雨量指数や降雨強度の予測システムへの取組を加速させており、排水ポンプ車の適正配置、早期現場派遣につなげるサービスができないか検討を進めている。

ハード面においても、海水対応やポンプ設置の省スペース化実現に向けたポンプの開発などの検討を進めており、今後さらに排水ポンプ車製品を通じた浸水被害の軽減を推進していきたい。

SDGs のターゲットへの貢献

11.b 災害リスク管理の策定と実施 迅速な災害復旧に貢献

13.1 災害に対する強靱性及び適応能力の強化 気候変動災害(水害)の復旧に貢献

双葉町減容化施設における廃棄物処理事業の紹介

Introduction of Waste Treatment Operation at the Volume Reduction Facility of Futaba Town

関連する SDGs



1. はじめに

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が大気中に放出され環境汚染が生じた。国は放射性物質汚染対処特措法に基づき、図1に示す区域を指定し除染作業で発生する廃棄物等の焼却処理を進めている。

クボタ環境サービス(株)を含む特定共同企業体(構成員:日鉄エンジニアリング(株)、クボタ環境サービス(株)、(株)大林組、東京パワーテクノロジー(株))は、2018年3月に双葉町減容化施設(中間貯蔵施設)における廃棄物処理その1業務を受注した。前述の除染廃棄物は各市町村に建設された仮設焼却施設で処理されるが、そこから中間貯蔵施設内に搬入される焼却灰及びばいじん、ならびに双葉町仮設焼却施設で発生するばいじんの減容化を行う施設(仮設灰処理施設)の建設・運営が対象業務である。

受注から僅か2年という短工期を克服し、2020年3月より処理を開始した。ここでは本事業の社会的意義や施設概要、中核となる回転式表面熔融炉や放射性物質を取扱うため自動化した設備等を紹介する。



図1 対策地域内市町村¹⁾

Fig. 1 Municipalities Within the Countermeasure Area

2. 施設の概要

本施設は放射性物質に汚染された廃棄物の減容化により最終処分量を最小化し、長きにわたる放射線管理の負担低減を目的として設置された。東京電力福島第一原子力発電所を取り囲む形で大熊町・双葉町に整備された中間貯蔵施設内に立地する(図2)。75t/日の処理能力を有した回転式表面熔融炉を2基備え、合計150t/日の処理を行う。年間処理量は37,500tを計画している。

処理対象物である焼却灰やばいじんは鉄分除去や破碎等の前処理を行った後、1300℃に維持された回転式表面熔融炉で熔融される。処理対象物に含まれる放射性物質は回転式表面熔融炉内ではガス状となり分離され排ガス処理へと移行し、ろ過式集じん装置で灰処理ばいじんとして捕集される。熔融処理によって発生する生成物(スラグ)は、環境安全品質基準に適合していることを確認した上で中間貯蔵施設内の排水層等の土木建設資材として再生利用される(図3)。

この過程により処理対象物に含まれる放射性物質は、灰処理ばいじんに濃縮される。除染廃棄物等は、焼却+灰熔融により約1%まで減容化されることになる。



図2 仮設処理施設の全景

Fig. 2 Overall View of Temporary Treatment Facility

紹介記事

2

双葉町減容化施設における廃棄物処理事業の紹介

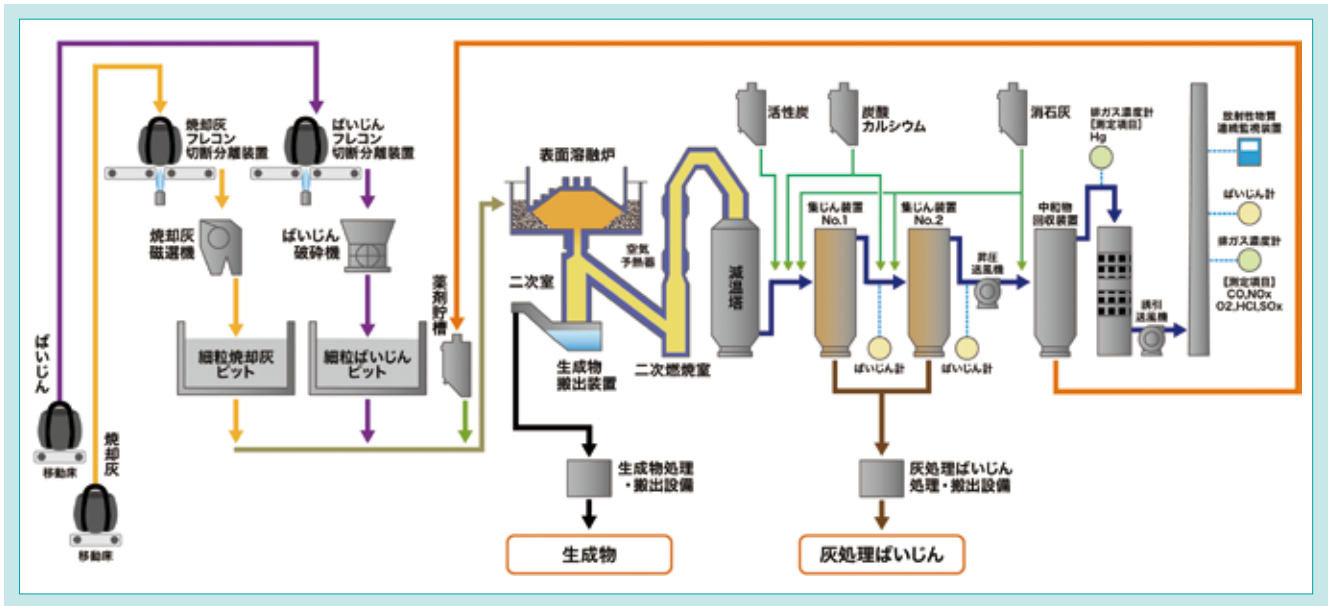


図 3 仮設灰処理施設の処理フロー

Fig. 3 Processing Flow of Temporary Ash Treatment Facility

3. 回転式表面溶融炉

回転式表面溶融炉は内径8.5mのそろばん玉状の主燃焼室下面の溶融面にて溶融処理を行う。回転する外筒と上下可能な内筒及びスラグを出すスラグポートで構成され、処理対象物は外筒の緩速回転により円周全体から主燃焼室溶融面へ均一に連続供給される。主燃焼室に供給された処理対象物は、バーナ火炎と溶融面の上下方向から均等に加熱され溶融し、スラグ

ポートへと流れスラグとなる(図4)。このような構造上の特徴から、均一な性状で安定した環境安全品質のスラグを製造することができる。

回転式表面溶融炉は香川県豊島における不法投棄廃棄物処理に代表されるように、技術面と安定稼働実績において高い評価を得ている。

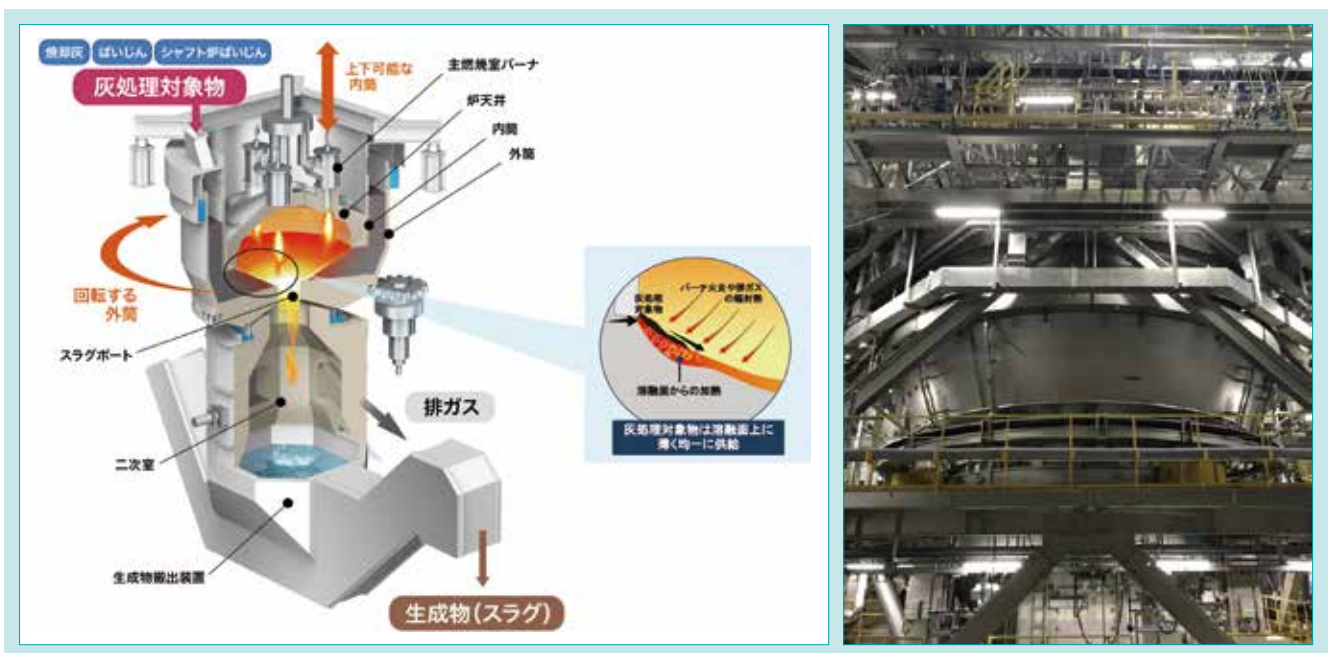


図 4 回転式表面溶融炉

Fig. 4 KUBOTA Surface Melting Furnace

4. 自動化技術の導入

4-1 受入ヤードの自動化・無人化

処理対象物である焼却灰やばいじんは放射性物質を含み、施設にはフレキシブルコンテナの荷姿で搬入される。

通常、フレキシブルコンテナの荷降ろしにはフォークリフトを使用するが、今回は移動床を採用し、運搬車両にも移動床を設置することで荷降ろしから貯留、前処理設備への投入までを自動化・無人化し作業員の放射線被ばくリスクを低減した。また、事前にフレキシブルコンテナへRFタグを取付け無線通信することで、どの仮設焼却施設で発生した焼却灰やばいじんかといった個体情報の確認も自動化している(図5)。



図5 受入ヤードの自動化
Fig. 5 Receiving Yard Automation

4-2 灰処理ばいじん容器充填装置の自動化・無人化

処理に伴い発生する灰処理ばいじんは、放射性物質が高濃度に濃縮されている。これらは内袋付きの鋼製角形容器へ封入し、中間貯蔵施設内の廃棄物貯蔵施設にて保管する。

空の内袋及び鋼製角形容器をセットすることで、鋼製角形容器の上蓋外し、内袋と鋼製角形容器のセット、灰処理ばいじんの充填・密封、上蓋再取付けといった作業を自動化・無人化し作業員の放射線被ばくリスクを低減した(図6.7)。また、搬出時に使用するフォークリフトには前面に放射線遮蔽用の鉛ガラスを取付ける等、作業員の被ばく線量低減に努めている。



図6 鋼製角形容器への充填
Fig. 6 Filling a Steel Square Container

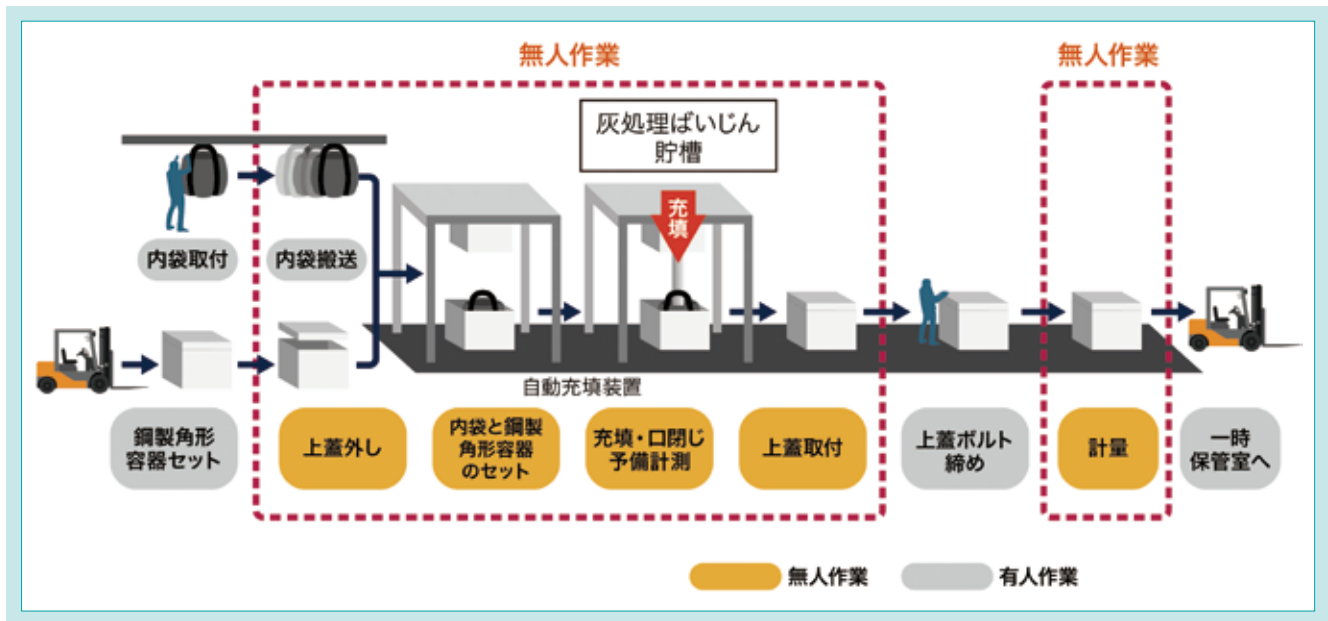


図 7 灰処理ばいじん容器充填装置の自動化
Fig. 7 Automation of Soot and Dust Filling Equipment

5. おわりに

2020年3月にJR常磐線が全線復旧し、9月には双葉町内中野地区に災害・復興に関する情報を発信する東日本大震災・原子力災害伝承館がオープンするなど、復興は着実に進んでいる。しかし、未だ震災時に壊れた家屋がそのまま残っているのも事実である。本業務はこうした廃棄物等を減容化することで被災地の復興を加速させ、一日も早い住民帰還を実現する事業の一つとなる。

運營業務に移行した今後は、国家的事業の一翼を担う自覚と責任感を持ち、安全・安心な施設の稼働を実現していく。同時に本事業を完遂することでクボタ環境サービス(株)として地域社会の発展と地球環境の保全に資する技術力を更に高めていきたい。

SDGs のターゲットへの貢献

- 11.6 廃棄物管理の強化等を通じた環境の改善 廃棄物の減容化による環境改善に貢献
- 11.b 災害リスク管理の策定と実施 迅速な災害復旧に貢献
- 12.5 廃棄物の発生防止、再利用の実施 生成物(スラグ)再利用による廃棄物の減容化に貢献

参考文献

- 1) 環境省 放射線物質汚染廃棄物処理情報サイト 対策地域内廃棄物について
http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological_contaminated_waste/regional_measures/、(参照日2020-12-07)

高集積型液中膜ユニットSP900-A

Highly Packed KUBOTA Submerged Membrane Unit SP900-A

1. はじめに

液中膜ユニットは、高度な排水処理方式のひとつである膜分離活性汚泥法に使用される膜ろ過装置である。液中膜ユニットの適用で、安心・安全な処理水が得られ、また、排水処理設備の省スペース化が実現する。

近年、下水処理市場において既設改造による処理能力増強のニーズが高まっているが、ここに液中膜ユニットを使用すれば、設備改造を最小限に抑えつつ処理量を増加することができる。改造コスト低減を目的に、既設の生物反応タンクを最大限活用してより多くの処理量を得ることを狙い、従来製品より膜充填率(装置設置面積当たりの膜面積)を高めた高集積型液中膜ユニット「SP900-A」を開発した。

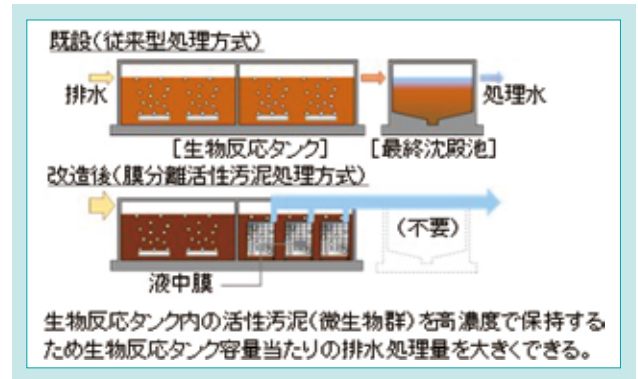


図1 既設改造における液中膜ユニットの適用例
Fig. 1 Image of KUBOTA Submerged Membrane Unit Application to Retrofit of Existing Facilities

2. 製品の概要

液中膜ユニットSPシリーズは、膜エレメントを結束した膜モジュールを多段、多列に組み合わせて搭載している(図2)。SP900-Aでは、下記2点を改良することにより、従来の最大型式であるSP600に比して50%増の膜充填率を実現した。

1) 膜モジュールの構造

ろ過機能を従来製品と同等に維持しつつ、また、使用環境への耐久性を備えさせながら、膜エレメントの厚みを25%低減させた。これにより、膜モジュール1台あたりの膜エレメント枚数を増加させることができ、12.5%増の膜充填率を実現した。

2) ユニットの構造

ユニットのフレーム強度を向上させることで、搭載できる膜モジュールを最大12段から16段にまで増加させることを可能にした。これにより、SP600に比して33.3%増の膜充填率を実現した。

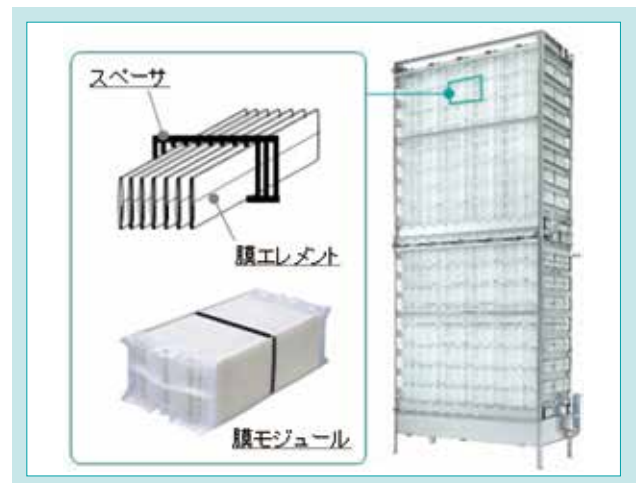


図2 液中膜ユニット SP900-A
Fig. 2 Highly Packed KUBOTA Submerged Membrane Unit SP900-A

3. おわりに

今後も液中膜ユニットの製品改良を継続することに加え、製品使用時の省エネルギー性向上にも取り組み、世界が目標に掲げるSDGs達成のために、高性能で低コストの排水処理技術の実現に向けてチャレンジし続ける。

問合せ先: 〒661-8567

住所 兵庫県尼崎市浜1-1-1

会社名 株式会社 Kubota 膜システム部

TEL 06-6470-5840

●
—クボタ技報—

KUBOTA TECHNICAL REPORT

No.54

●編集委員●

| | |
|--------------|-------|
| 農業ソリューション技術部 | 松下 肇 |
| 精密機器技術部 | 円藤 幸夫 |
| パイプインフラ事業推進部 | 肝付 兼士 |
| パイプインフラ事業推進部 | 小谷 正典 |
| 環境プラント技術部 | 松井 寛幸 |

●事務局●

| | |
|---------|-------|
| 研究開発統括部 | 倉持 克史 |
| | 五十嵐慶介 |
| | 大霜新三郎 |

●
2021年1月印刷

2021年1月発行

(執筆者の所属は2020年12月現在)

————— 禁無断転載 —————

(非売品)

発行所 株式会社クボタ

研究開発統括部

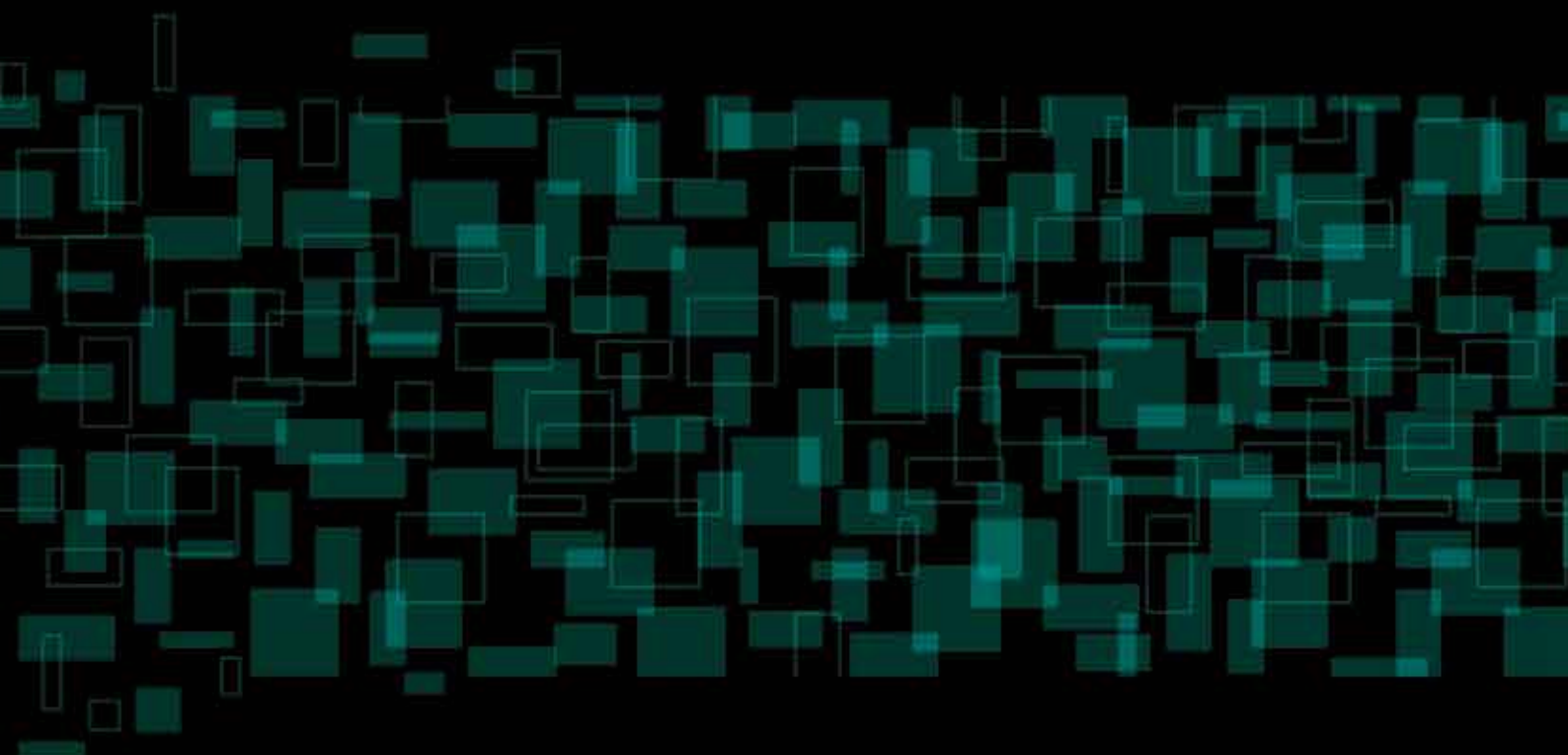
〒556-8601 大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号

TEL (06) 6648-2499 (ダイヤルイン)

FAX (06) 6648-2503

印刷 クボタエイトサービス株式会社





株式会社 **クボタ**

www.kubota.co.jp