

3.5~8.0トン積 高性能電動フォークリフトの開発 Development of 3.5-8.0ton High-Performance Electric Counter Balanced Forklift Truck

三浦 知道^{*1} 藤岡 久未子^{*1} 北村 圭祐^{*2} 炭釜 康一^{*3} 竹村 憲治^{*4}
Tomomichi Miura Kumiko Fujioka Keisuke Kitamura Koichi Sumigama Kenji Takemura

*1 トヨタL&Fカンパニー 製品開発部 *2 SC開発部 *3 製品企画部 *4 PGプロジェクト

要旨 世界的なカーボンニュートラルの流れにより電動フォークリフトへの市場シフトが進んでいるが、従来の3.5~8.0トン積電動フォークリフトの性能はエンジンフォークリフトをご使用のお客様を満足させるものではなかった。今回、これまで培った技術をベースとし「エンジンフォークリフトのように使える高性能電動フォークリフト」をコンセプトに開発を進め、さらには最新機能も織り込み、より使いやすい商品として従来との差別化を実施した。

キーワード:カーボンニュートラル、フォークリフト、電動、高性能

Abstract The market shift to electric forklifts is progressing due to the global trend of carbon neutrality, but the performance of conventional 3.5-8.0ton electric forklifts did not satisfy the customers using engine forklifts. This time, based on the technology cultivated up to now, the development was carried out based on the concept of "high-performance electric forklifts that can be used like engine forklifts". Furthermore, the latest functions were incorporated, and the product was differentiated from the conventional product as an easier to use product.

Keywords: Carbon Neutrality, Forklift, Electric, High-Performance

1 はじめに

当社は3.5~8.0トン積エンジンフォークリフト(以降、エンジン車)を「GENEO」として2013年にフルモデルチェンジし、その後もさまざまな改良を重ね、走行・荷役性能、安定性、操縦性、信頼性の高いフォークリフトとして高い評価を得てきた。

その一方で世界的なカーボンニュートラルの流れにより電動フォークリフト(以降、電動車)への市場シフトが進んでいるが、3.5~8.0トン積エンジン車については厳しい環境でご使用のお客様が多く、従来の電動車ではパワー不足、稼働時間や屋外作業への不安があり(図1)、それらの環境での使用を満足させることができなかった(写真1)。この高性能電動車はこのような背景のなか、高負荷・高稼働のエンジン車からの代替として、電動化で最新機能を織り込み、エンジン車よりも使いやすくお客様に満足いただける商品を提供することを開発の目標とした。



写真1 北米客先での屋外悪路環境
Photo1 Outdoor Rough Environment at US Customers

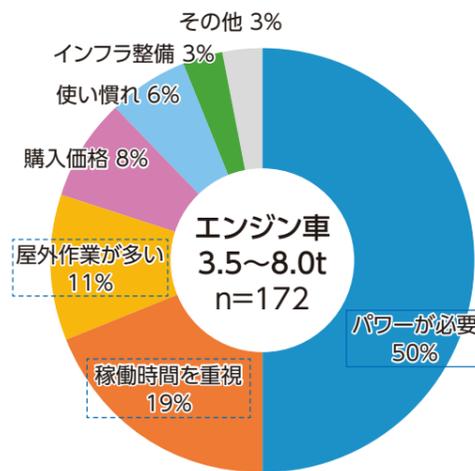


図1 電動化への阻害要因
Fig.1 Disincentives to Electrification

2 コンセプト

新型の高性能電動フォークリフトの開発は、以下を主要なコンセプトとして推進した。

- 1) エンジン車に匹敵する走行・荷役性能
- 2) エンジン車に匹敵する耐久性・力強さ
- 3) エンジン車に匹敵する使い勝手
- 4) 他機種で好評な機能の横展開

3 製品の特長

3.1 エンジン車に匹敵する走行・荷役性能

他機種で既に実績のあるTIEV(Toyota Industrial Equipment Vietnam)製モータをベースとしインターフェイス部品を新設した。走行・荷役それぞれに2モータを採用すること(図2)により、エンジン車に匹敵する走行・荷役性能を達成している(図3)。

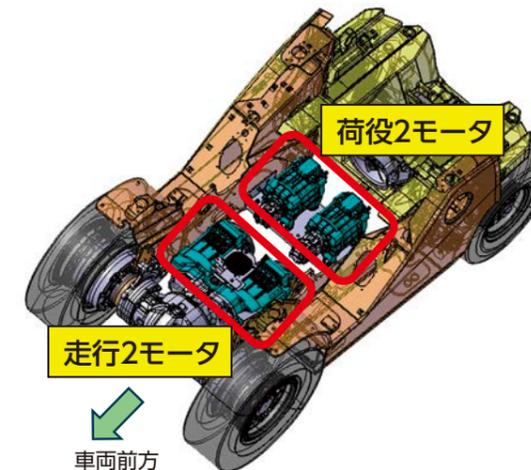


図2 フレーム中央部の走行・荷役モータ配置
Fig.2 Location of Drive and Pump Motor in the Center of the Frame

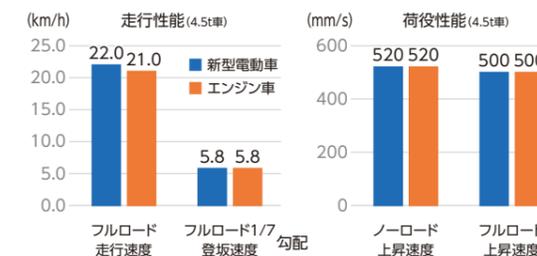


図3 走行・荷役性能比較
Fig.3 Driving and Loading Performance

3.2 エンジン車に匹敵する耐久性・力強さ

フレームモジュール構成を採用し、ボルトオン構造により良い組付性を確保した(図4)。従来の電動車ではバッテリー搭載スペースが中央に必要であり、エンジン車のように断面の剛性が高いフレームを構成することが難しかったが、バッテリーをウエイト内に搭載するレイアウトを採用したことにより、エンジン車同等の高いボディ剛性を確保した(図5)。また、エンジン車で開発した湿式ブレーキならびに密閉モータの採用により、耐環境性能(耐水・耐塵)を確保した(図6)。

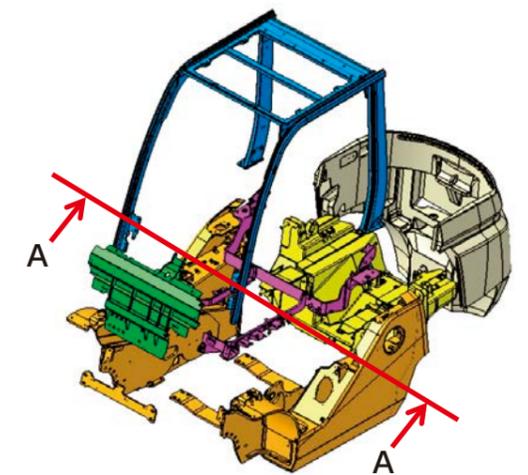


図4 ボルトオン構造によるフレームモジュール構成
Fig.4 Frame Module Configuration (Bolt-on Structure)

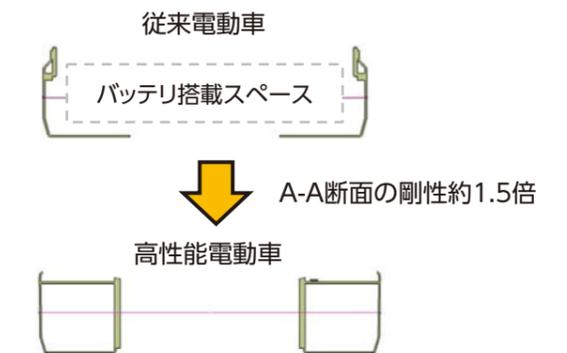
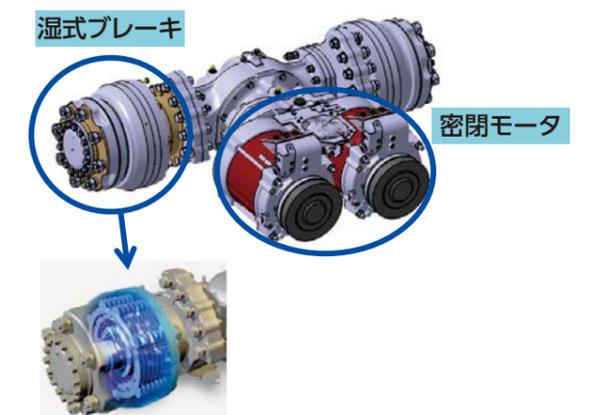


図5 フレーム断面の剛性比較
Fig.5 Stiffness Comparison of Frame Sections



摩擦材を配置した密閉ハウジング内にオイルを充満(荷役用オイルと共用し全体で循環)
図6 湿式ブレーキ構造図と密閉モータ
Fig.6 Wet Brake Structure and Sealed Motor

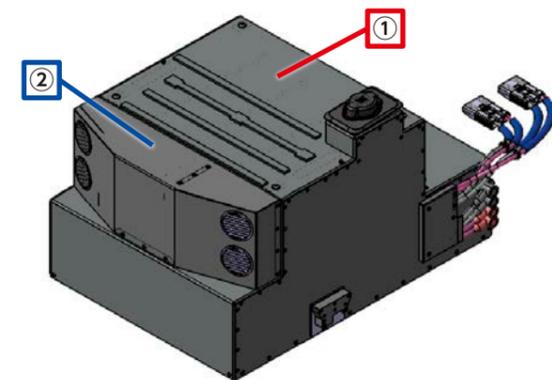
3.3 エンジン車に匹敵する使い勝手

- (1) オペレータ周辺レイアウトの共通化
オペレータに対するシート、ステアリング、アクスルペダル、ブレーキペダル、レバー類の配置につ

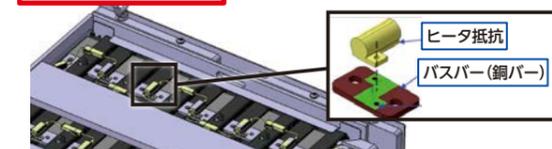
いて極力エンジン車と共通とし、エンジン車からの代替えについて違和感がないように開発を進めた。

(2) リチウムイオンバッテリーの採用

従来の鉛バッテリーでは定期的なメンテナンスとしてバッテリーフードの開閉をとまなう補水作業、清掃作業などを必要としたが、リチウムイオンバッテリーを採用することによりメンテナンスの手間を最小化した。高温・低温といった過酷な使用環境下でも車両性能を維持し、お客様の作業効率を損なわせないため、ヒーター抵抗を用いた冷間時のヒーターシステムならびにバッテリーの発熱を抑制する液冷式クーリングシステムを採用し(図7)、高稼働・高負荷のお客様のオペレーションにも対応可能とした。さらには225Aでの充電運用を実現し、最大性能での稼働と休憩時間での充電を組み合わせることにより約7時間の運用を可能とした。



①ヒータシステム ※バスバー加熱方式は当社初



②冷却システム ※液冷方式は当社初

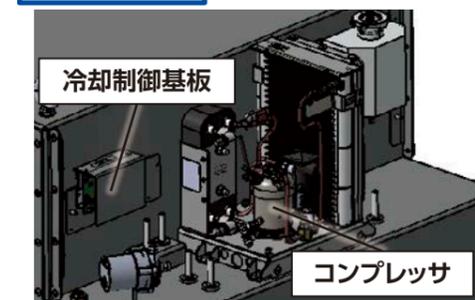


図7 リチウムイオンバッテリーの温調システム
Fig.7 Temp. Control System for Lithium-Ion Battery

3.4 他機種で好評な機能の横展開

(1) オートパーキングブレーキ

車両の状態に合わせてパーキングブレーキ(PKB)の作動/解除を自動で制御する機能を搭載し、ブレーキの操作性向上と掛け忘れ防止を狙った。

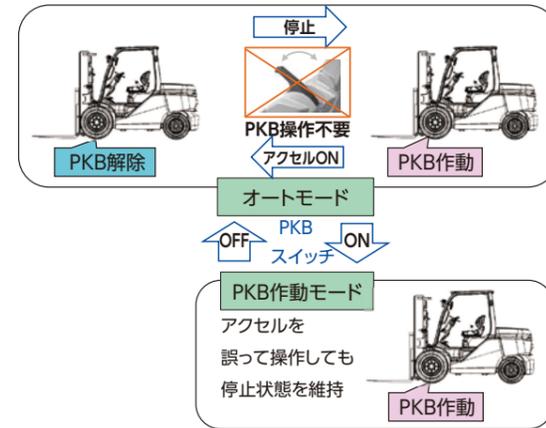
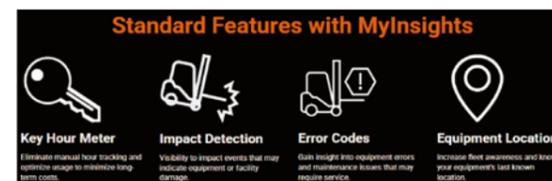


図8 オートパーキングブレーキ機能
Fig.8 Automatic Parking Brake Function

(2) テレマティクス標準装備

(商品名: MyInsights)
機台使用アワーメータ、衝突検知、エラーコード検知など、稼働状況を常にデータ化し作業改善、安全管理が可能なテレマティクス(稼働管理装置)を標準搭載とした。



- ・キーオンアワーメータ
手動による時間管理を排除し、使用率を最適化して長期的なコストを最小限に抑制
- ・衝撃検出(オプション)
機器または設備の損傷を示す可能性のあるインパクトイベントの可視性
- ・エラーコード管理
サーピスを必要とする可能性のある機器のエラーやメンテナンスの問題を把握
- ・GPSによる車両位置把握
フリートの認識を高め、機器の最後の既知の場所を把握

図9 テレマティクス機能
Fig.9 Telematics System Function

3.5 デザインコンセプト

新技術の洗練性とエンジン車に負けない力強さを感じるデザインを目指した。

- 1) 大型リチウムイオンバッテリーを包み込む特徴的な造形

- 2) 強靭さを感じさせる張り出したバンパー造形で電池をプロテクト
- 3) コーナRの大径化により旋回のしやすさと接触時のダメージ低減を実現
- 4) ハの字の下広がりグラフィックにより低重心で安定感のある形状を表現
- 5) フィンの反射テープにより暗い場所でのフォークリフトの視認性を向上

これらの機能的デザインが評価され2025年度グッドデザイン賞を受賞した。



図10 カウンターウエイト意匠コンセプト
Fig.10 Counterweight Design Concept

4 開発内容

4.1 ドライバ間のCAN(Controller Area Network)通信による走行2モータ制御

- 1) ドライバ間のCAN(Controller Area Network)通信による走行2モータ制御
エンジン車同等の走行性能を確保するため、高性能電動車では駆動ユニットとして「2軸直結型直交配置」を採用し、2つのモータで大トルク化を実現している(図11)。

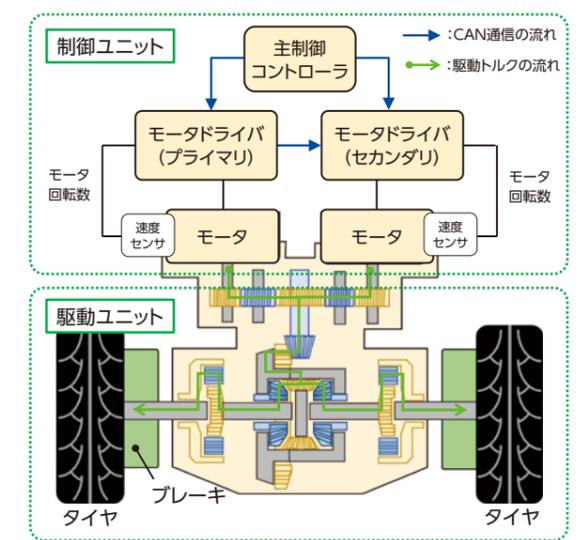


図11 ドライブユニット構造ならびにモータ制御方式
Fig.11 Drive Unit Structure and Motor Control System

制御ユニットとして2モータを2モータドライバで独立に制御する方式を採用した場合のシステム図を以下(図12)に示す。

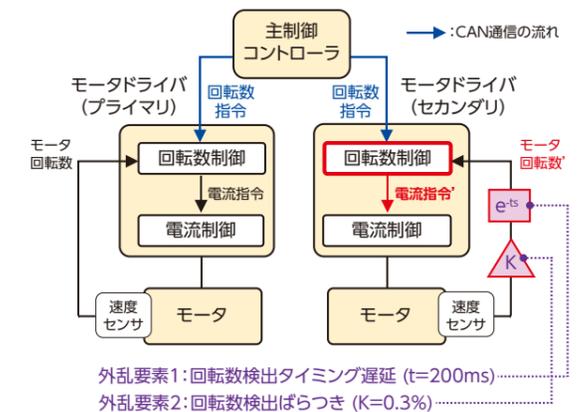


図12 2モータ独立制御のシステム図
Fig.12 System Diagram for Independent Control of Two Motors

2モータ独立制御時のシミュレーション結果を以下(図13)に示す。外乱要素の影響で生じた電流指令の差異により、プライマリ(主要)とセカンダリ(補助)のトルクに乖離が発生していることがわかる。

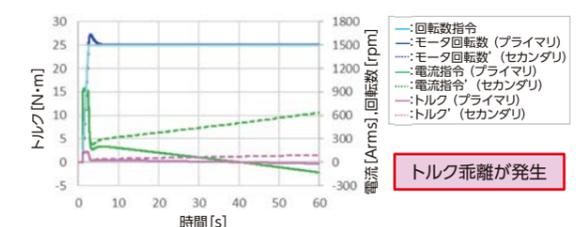


図13 2モータ独立制御のシミュレーション結果
Fig.13 Simulation Results of Independent Control of Two Motors

この課題に対し電流指令調整機能をプライマリ側の回転数制御に集約し、セカンダリ側は電流制御に限定することで2モータドライバ間の電流指令を共通にする方式を新規採用した(図14)。

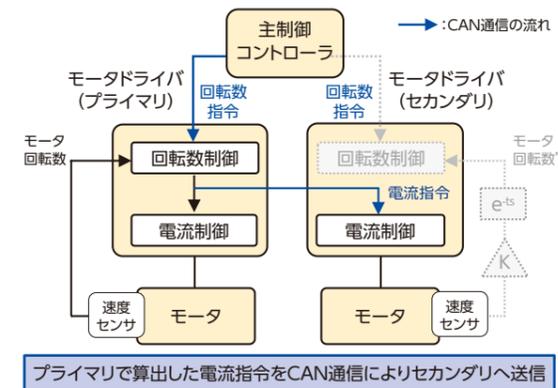


図14 新規制御システム図
Fig.14 New Control System Diagram

本技術方策の採用により外乱要素の影響を無効化することができるため、2モータ間のトルク乖離が解消(図15)し、駆動ユニットと制御ユニットの安定した連携が可能となり、車両要求性能の達成に貢献した。

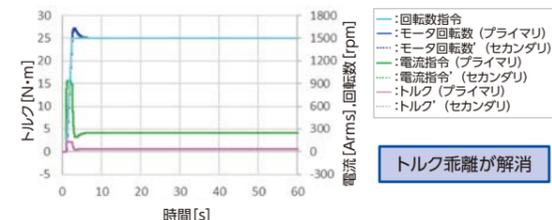


図15 新規シミュレーション結果
Fig.15 New Simulation Results

4.2 高出力コンポーネントの冷却

高出力化によるモータドライバ、走行モータ、荷役モータのオーバーヒートを抑制するため、機台内の各部にファンを設け、車両全体での冷却効率を高めた。

走行モータでは、2つのモータ直上にファンを配置し、筐体に直接風を当てることで内部のベアリングやコアを冷却する構造とした(図16)。

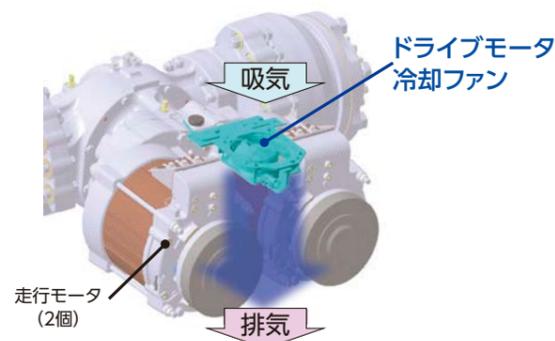


図16. 走行モータ冷却構造
Fig.16 Drive Motor Cooling Structure

荷役モータでは、モータ後方に設置したファンで前方から走行風を取り込み、モータ筐体に風を当てることで冷却する構造とした(図17)。

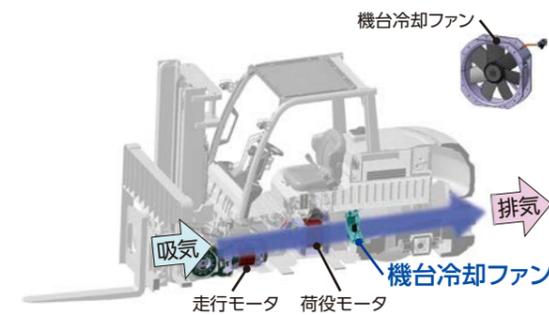


図17. 荷役モータ冷却構造
Fig.17 Pump Motor Cooling Structure

また、モータドライバはヒートシンクを向かい合わせに配置することで省スペース化を図りドライバ下部に設置した4つのファンで排熱を下方に排気(図18)、さらにその排熱を機台冷却ファンで機台後方へ排出する構造とし、効率的な機台冷却を実現した(図19)。

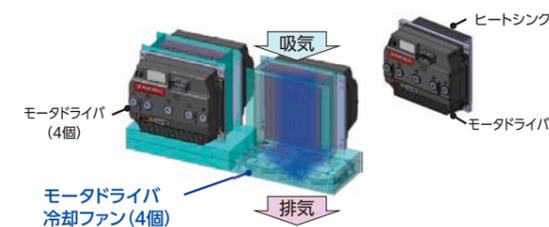


図18.モータドライバ冷却構造
Fig.18 Motor Driver Cooling Structure

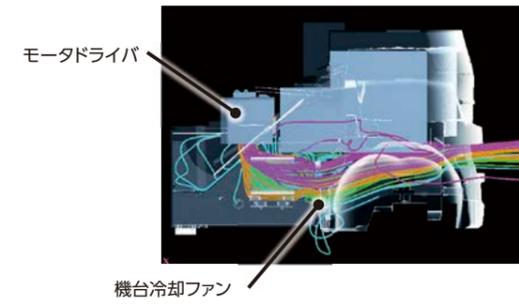


図19.モータドライバ排熱の風流れ解析結果(側面視)
Fig.19 Air Flow Analysis Results of Motor Driver Exhaust Heat (Side View)

4.3 PGルーフ

フォークリフトのヘッドガードに新たにPGルーフ(Plastic Glazing Roof)を採用し、開放的な運転空間と広い上方視界を実現した(写真2)。PGルーフは当社として独自に開発し自動車にも採用される技術であるが、フォークリフト特有の使用環境に対応するためには、落下物に対する強度要件を満足する設計が求められる(図20)。そこで今回の開発では、ハードコート材料の最適化に加え、PGルーフにかかる入力を低減する機台フレームレイアウトを採用することで、要件を満たした。また、屋外での長期使用を前提に、紫外線などによる経年劣化への対策として高耐候性を付与しており、長期間にわたり強度を維持することで、安全性と快適性を両立するヘッドガード構造を実現している。



写真2 PGルーフ
Photo2 PG Roof

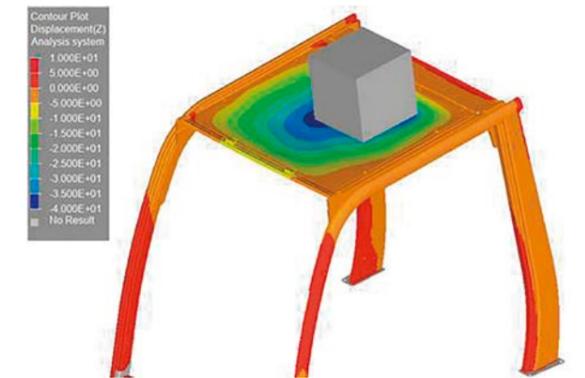


図20 立方体落下試験シミュレーション結果
Fig.20 Cube Drop Test Simulation Results

5 まとめ

今回、新たに開発を行った3.5~8.0トン積電動フォークリフトは、これまで当社が提供してきたエンジンフォークリフト代替の受け皿となる商品としてお客様に提案することができたと確信している。カーボンニュートラルが加速していくなかで、トップメーカ(当社調べ)である当社としてお客様にこのような商品を提供することができた今回の開発の知見が、今後のさらなる新しい開発の礎になることを願っている。最後に今回の開発にあたり、多大なご協力・サポートを頂きました社内外の関係者各位に深く感謝いたします。

■ 著者紹介 ■



三浦 知道



藤岡 久未子



北村 圭祐



炭釜 康一



竹村 憲治

開発の経緯と開発者の思い

従来のような旧モデルに対するモデルチェンジの開発ではなく、新しいコンセプトに基づく新開発を推進するにあたり、まずは各機能品の性能や車体構造を確認するための先行確認車をしっかり作り込むことから始めました。そのために「先行確認車着手審査→先行確認車の製作・評価→先行確認車完了審査」という新しい開発の仕組みに従い、各ステップにてさまざまな有識者のご意見を取り入れ、製品としてのレベルアップを図ることができました。

本製品については、その市場自体が未成熟な状況のなかで当社の今後の開発方針を検討するテストマーケティング的な位置付けのフォークリフトでもあり、実際にご使用いただくお客様の声にしっかり耳を傾けていきたいと思っております。