

CFD を用いた高効率水ポンプの開発

Development of High-Efficiency Water Pump Using CFD Simulation

秋山 直寛*
Naohiro AKIYAMA

紺地 隆秀*
Takahide KONCHI

要 旨

水ポンプは長時間にわたり連続で使用されることが多いので、汎用製品の CO₂ 排出量の大部分を占めており、燃費の改善が要求されている。

そこで本開発では燃費改善をねらいとして、数値流体解析を用いて、水ポンプの作業性能の調整と効率向上を達成する仕様を開発した。

開発した水ポンプは、東南アジア地域の低揚程灌漑作業をおこなう 3 インチポンプユーザをターゲットとした。ターゲットに合わせたポンプ性能の調整、ポンプ効率の向上、小排気量エンジンの適用、空燃比の調整をおこなうことで、市場の作動領域で従来型に対し 20% 以上の燃費向上が達成されることを予測し、試験にて効果を確認した。

ABSTRACT

Water pumps are often used for many continuous hours, and as a result, they account for a large part of the CO₂ emissions of general-purpose products. Therefore, it is desirable that the fuel consumption of such pumps be improved.

In order to make such an improvement, computational fluid dynamics was used to develop water pump specifications that would adjust the working performance and enhance the efficiency of such pumps.

The water pump developed herein was targeted at users of three-inch pumps doing irrigation work with low head (lifting height) in Southeast Asia. The researchers forecast that the new pump could improve fuel consumption by more than 20% compared to a current model within the operating range of the market, thanks to adjustment of the pump performance in line with the needs of the target market, enhancement of pump efficiency, use of a low-displacement engine, and adjustment of air-fuel ratio. The effect was then confirmed by testing.

1. まえがき

1.1. 水ポンプを取り巻く環境

近年、人口増加と温暖化の影響を受けて世界的規模で水資源の確保が課題となっている。食糧増産の傾向は今後も続くことが予想され (Fig. 1) ⁽¹⁾, それと共に水需要が増加すると考えられている。一般的に、水資源の活用を補助する機械として世界各国で水ポンプが使用されており、食糧増産と水需要の増加とともに水ポンプの需要も増加すると予測される。

水ポンプの作業内容は、水田や畑の灌漑、池やプールなどの排水、水位調整、水タンクへの給水など様々である。

市場においては 4 - 8 時間にわたり連続で使用されることが多く、他の機械と比べて CO₂ 排出量が多くなる傾向にある。Honda が販売する各種汎用製品の CO₂ 排出量分析においても、水ポンプが全体の CO₂ 排出量の 85% を占めることが予測されている (Fig. 2)。

したがって、今後の需要増大に伴い、よりいっそう CO₂

排出量が多くなることが予想されるため、水ポンプの燃費改善とそれに伴う CO₂ 排出量の低減は、水ポンプ製品を扱うメーカーの責務と考える。

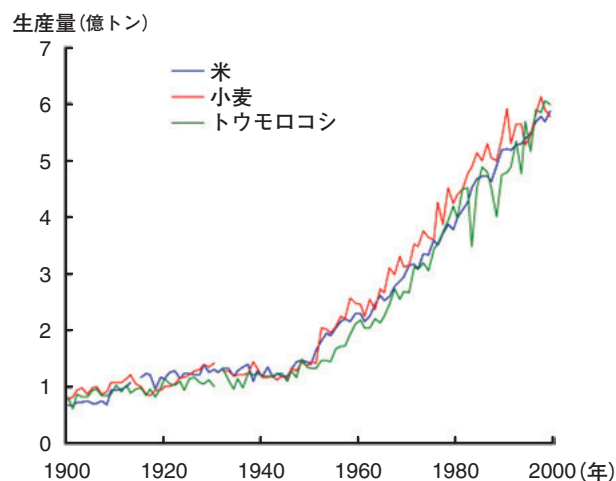


Fig. 1 Quantity of crops production

* 汎用 R&D センター

1.2. 自社水ポンプの販売状況分析

Honda における水ポンプの販売状況について述べる。水ポンプの販売は 1967 年より始まっている。製品ラインナップは吸込、吐出口径のインチ別で分類されており、2011 年度の販売結果によると、3 インチ口径のポンプが最も販売台数が多く、全体の 52% であった (Fig. 3)。

販売地域別については、中国、東南アジア、オセアニア地域で約 44% を占める結果であった (Fig. 4)。

1.3. 市場の特徴

世界各地域の市場における水ポンプについて、流量と揚程を指標とした作動点の領域分布を示す (Fig. 5)。用途や設置環境、石油燃料に対する意識などにより、各地域の水ポンプの作動領域には特徴がある。水田の灌漑に水ポンプを多用する東南アジア地域は他とは明らかに異なり、低揚程で流量を抑えた低回転の作動領域であった。

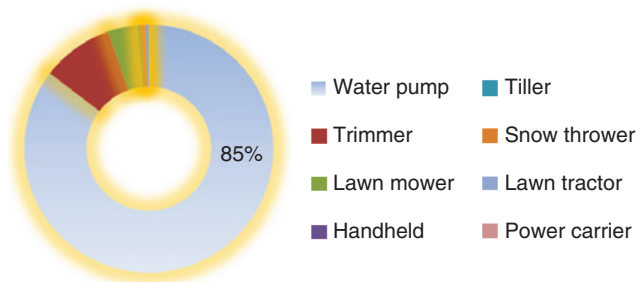


Fig. 2 CO₂ emission ratio of Honda power products

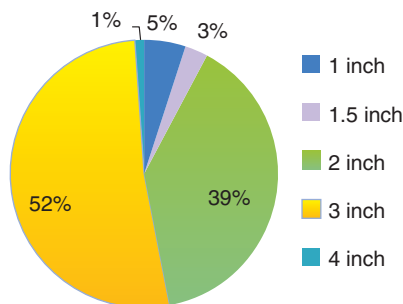


Fig. 3 Inch categorized sales result of Honda pumps

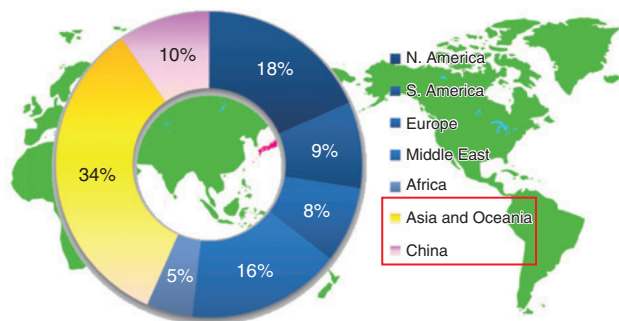


Fig. 4 Area categorized sales result of Honda pumps

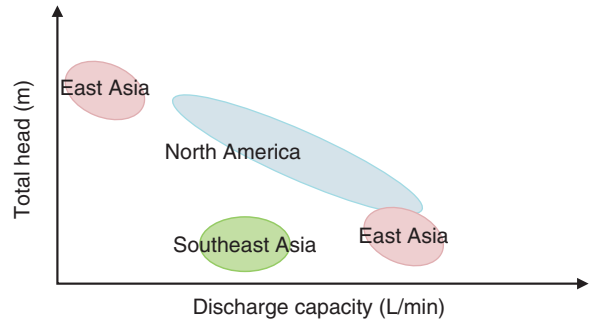


Fig. 5 Work point map of water pump

2. 開発ポンプの特徴と目標値

2.1. 開発ポンプの特徴

Honda が販売する水ポンプは主に自吸式水ポンプであり、水の輸送性能であるポンプ性能に加え、始動時に水源から水ポンプ本体まで水を引き上げる自吸性能が要求される。自吸とは、ポンプ内のみに水が満たされた状態から吸込み側の空気を排出する作業のことである (Fig. 6)。自吸時にポンプ内で空気と水が混合されたのち、出口付近で空気のみ分離および排出される様子を Fig. 7 に示す。

高い自吸性能を得るには水と空気の境界面の乱れを大きくして混合を促進する方法や、混合した流体を遠心流に導いて分離を促進させる方法などがあるが、自吸後の通常作業時にはそれらの自吸性能を向上させるための構造がポンプ効率を低下させる傾向にあるため、ポンプ性能と自吸性能は相反する関係にあることが多い。

2.2. 部品構成

水ポンプの主要な構成部品は Fig. 8 のように Impeller, Volute, Casing, Inlet, Outlet である。

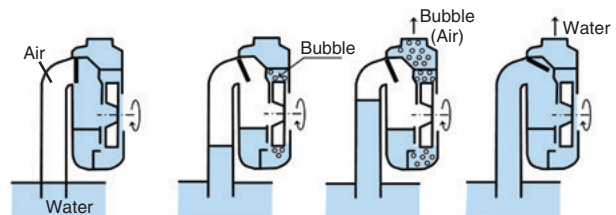


Fig. 6 Self-priming image

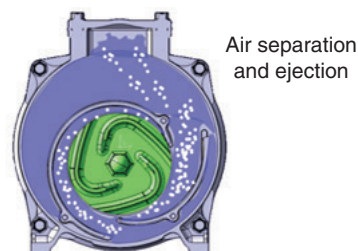


Fig. 7 Water circulation image of self-priming process

これらの形状は、ポンプ性能と自吸性能がバランスするポイントで決定する必要があるが、本開発ではポンプ性能に特化した仕様とした。

2.3. 開発ターゲットと目標

本開発ではユーザ数の多い東南アジア地域で低揚程灌漑作業をおこなう3インチポンプユーザをターゲットとし、実用燃費が改善するポンプを開発する。

目標として、インペラ形状の最適化によるポンプ効率の向上とエンジン搭載変更などの調整を含めて実用燃費 20% 以上の改善を目指す。

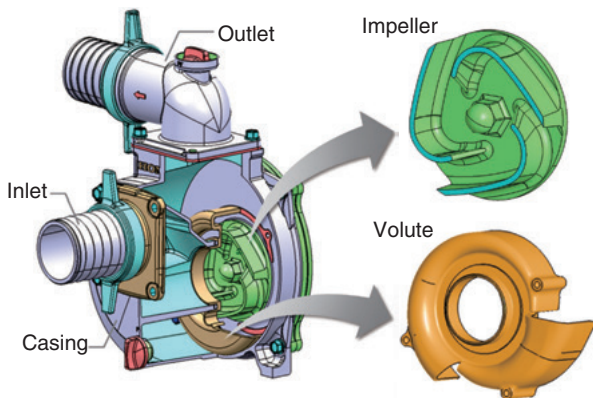


Fig. 8 Main parts of water pump

3. 仕様検討

3.1. ポンプ性能の調整コンセプト

低揚程、低回転の運転に適したポンプ性能を検討する。例として、最大流量と効率が等しい二つのポンプ A, B を比較する。B は A に比べて最大揚程が低い仕様である。二つのポンプを低揚程、低回転の作動点で運転する場合、Fig. 9 のようになる。このとき、作動点における A, B の効率は Fig. 9 のように違いが表れ、B の方がより高い効率で運転

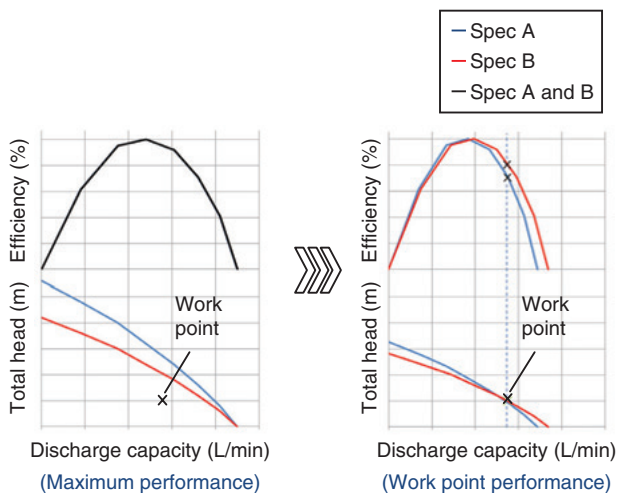


Fig. 9 Concept image of pump performance tuning

Table 1 CFD setting

Solver	Pressure-based
Viscous model	k- ω Standard
Motion	Mesh motion
Scheme	SIMPLE
Fluid materials	Water

することが可能となる。

したがって、本開発の仕様は作動点での効率を優先し、最大揚程が低くなるようにポンプ性能の調整をおこなう。

3.2. 仕様の検討手法

本開発では商用の数値流体解析 (CFD) ソフトウェアを使用してポンプ性能を予測し、水ポンプの形状検討をおこなった。CFD に用いた各種条件を Table 1 に、CFD のモデルイメージを Fig. 10 に従来型を対象とした予測精度の確認結果を Fig. 11 に示す。ポンプ性能の予測精度は $\pm 5\%$ 以

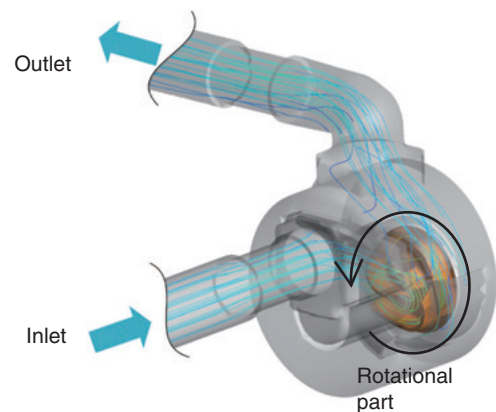


Fig. 10 CFD image

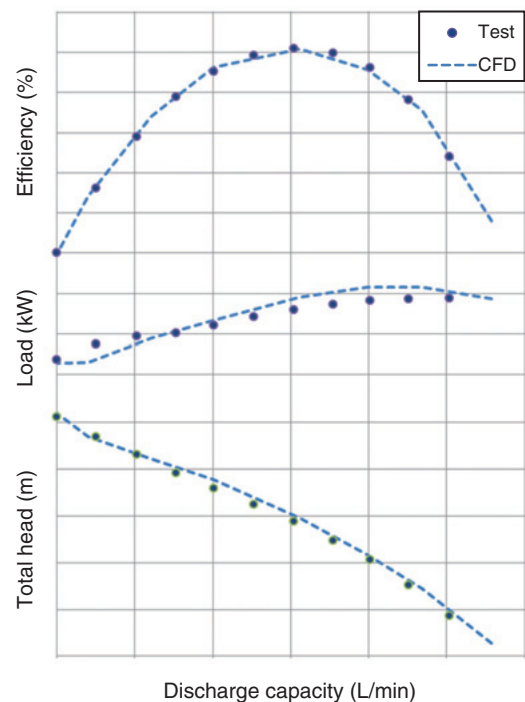


Fig. 11 Correlation result compared with test and CFD

内、所要動力特性の予測精度は $\pm 7\%$ 以内、水ポンプ効率の予測精度は $\pm 3\%$ 以内である。締切揚程近傍ではキャビテーションが起きやすく、この領域の精度向上は今後の課題であるが、ポンプ性能の基礎検討をおこなうにあたり十分に実用レベルにあると考える。自吸性能については水と空気の二相をあつかう解析であり現状では予測精度を欠くと判断したため、形状に対する傾向を試験にて確認した。

3.3. インペラ形状の検討

本開発のインペラ形状は、Fig. 12 に示す各種パラメータを調整して検討した。本開発で調整するパラメータとポンプの性能には Fig. 13 に示す相関がある。

本開発では、始めに翼枚数の選定をおこなった。従来型のインペラを基に翼枚数とポンプ効率の相関を確認した結果 Fig. 14 に示す傾向がある。一般的に、翼枚数が多い場合にインペラ外周部での水と空気の混合が抑制されて自吸性

能が低下する傾向にあるが、本開発では効率を優先して翼枚数を選定した。

次に、所要動力と揚程に影響の大きい外径を検討した。ポンプ性能の調整コンセプトを達成するには最大揚程を下げる必要があるが、従来型に対して小外径化した場合にポンプ効率が下がる傾向があったため、外径は従来型と同じ径とした。

最終調整として、その他のインペラパラメータを調整した。流出側の翼角度については、角度を大きくすると自吸性能が向上する傾向にあるが、本開発ではポンプ効率を優先して従来型に対して小さい角度を選定した。なお、ユーザの水源環境によっては小石や植物などの異物を水ポンプ内に吸い込む可能性があり、それらがインペラ内で詰まることを避けるため翼間距離や翼高さは一定以上の幅を確保した。

3.4. ポンプ性能予測

検討の結果、ポンプ性能に大きく影響するインペラ形状は Fig. 15 に示すようになった。CFD により従来型は Fig. 16 に示すように、翼背側で全圧が低下する部分（赤点線部）が見られたが、本開発の灌漑用では Fig. 17 に示すようにそれらの全圧低下を解消するよう翼形状の調整をおこない、効率向上を図った。

ポンプ内流路における各部の損失ヘッドと揚程について、理論揚程⁽²⁾に対する割合でヘッドバランスを確認した (Fig. 18)。インペラ前後の流れにおける損失ヘッドは従来

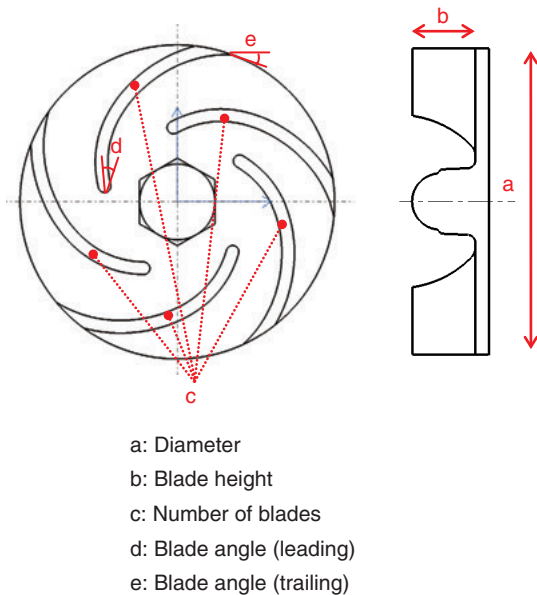


Fig. 12 Impeller parameters

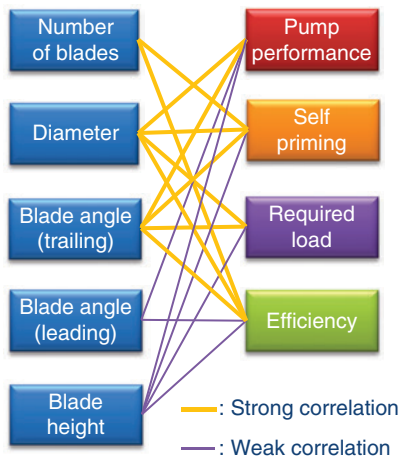


Fig. 13 Correlation map of parameter and pump performance

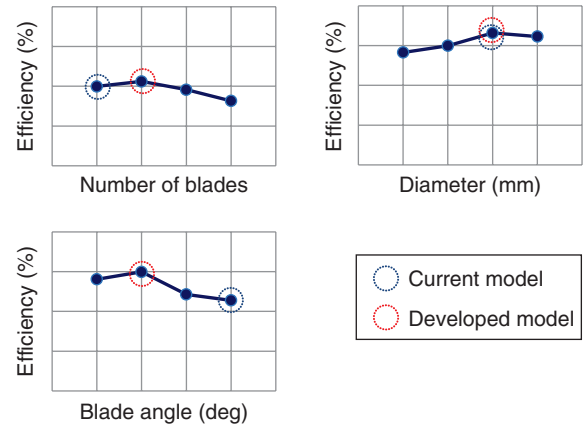


Fig. 14 Correlation of impeller parameters and efficiency

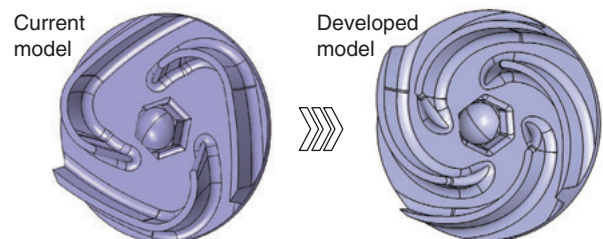


Fig. 15 Comparison of impeller

型と灌漑用でほぼ同等であるが、インペラ部における損失ヘッドは灌漑用の方が小さい。これはインペラ形状を改良したことによる。その結果、損失ヘッドの合計値が少ない灌漑用の方がポンプのアウトプットとして得られる揚程の割合が大きくなる。

ポンプ諸性能の解析結果を Fig. 19 に示す。インペラ形状の調整により、コンセプトどおりのポンプ性能となる見通しを得た。また、最大所要動力が低減し、ポンプ効率として約 8 ポイント向上することが予測された。

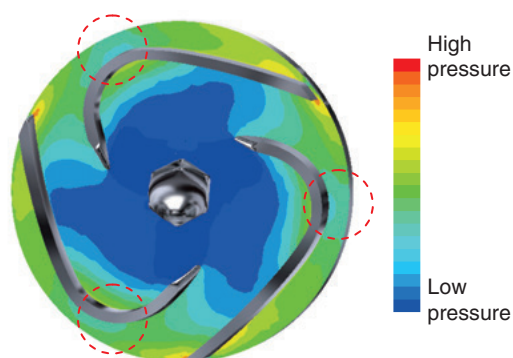


Fig. 16 CFD analysis result (Current model)

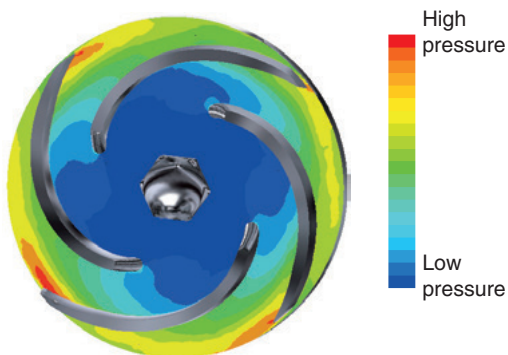


Fig. 17 CFD analysis result (Developed model)

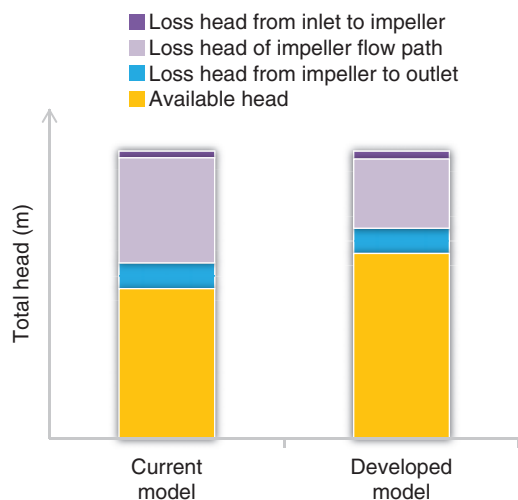


Fig. 18 Head balance

3.5. 燃費改善の予測

燃費改善について予測する。(1)ポンプ効率が向上し、所要動力が低減したため燃費が約 7% 改善される。また、(2)GX160 エンジンから GX120 エンジンへ載せ替えた場合、両エンジンの燃費特性の違いにより燃費が約 8% 改善する。さらに、(3)ポンプとのマッチング点で GX120 エンジンの空燃比を最適化した場合、燃費が約 7% 改善する。

これら (1) から (3) の効果により約 22% の燃費改善が可能となる見通しを得た (Fig. 20)。

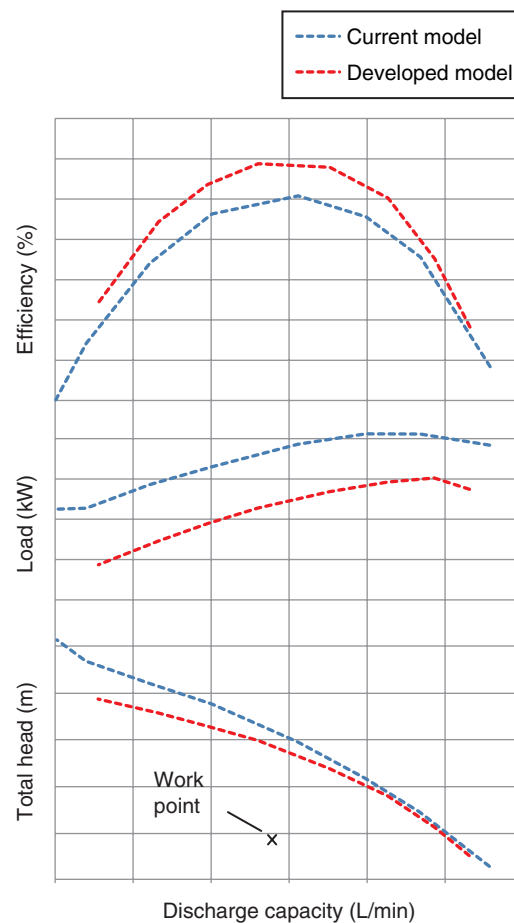


Fig. 19 CFD analysis result of pump performance

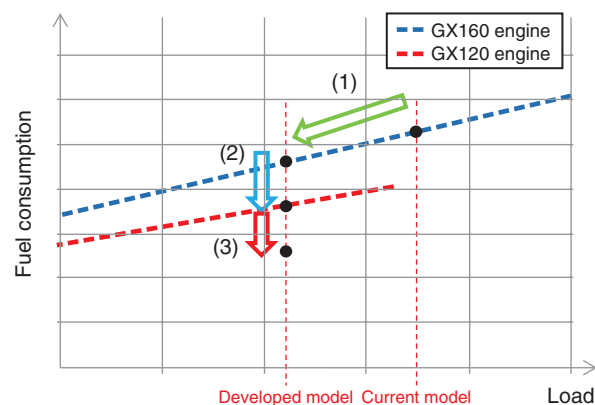


Fig. 20 Calculation of fuel consumption enhancement

4. 試験結果

4.1. 諸性能の試験結果

本開発の灌漑用ポンプについて、諸性能の実測結果を Fig. 21 に示す。CFD で予測したとおり最大効率が約 8 ポイント向上することが確認された。また、低揚程、低回転の作動点における効率は約 10 ポイント向上しており、ポンプ性能の調整による効果も確認できた (Fig. 22)。

さらに、GX120 エンジンの適用と空燃比の調整をおこなった仕様にて燃費を確認した (Fig. 23)。その結果、東南アジア地域の作動点における燃費が従来型に対して約 24% 改善することが確認され、予測どおりの燃費改善効果を得ることができた。

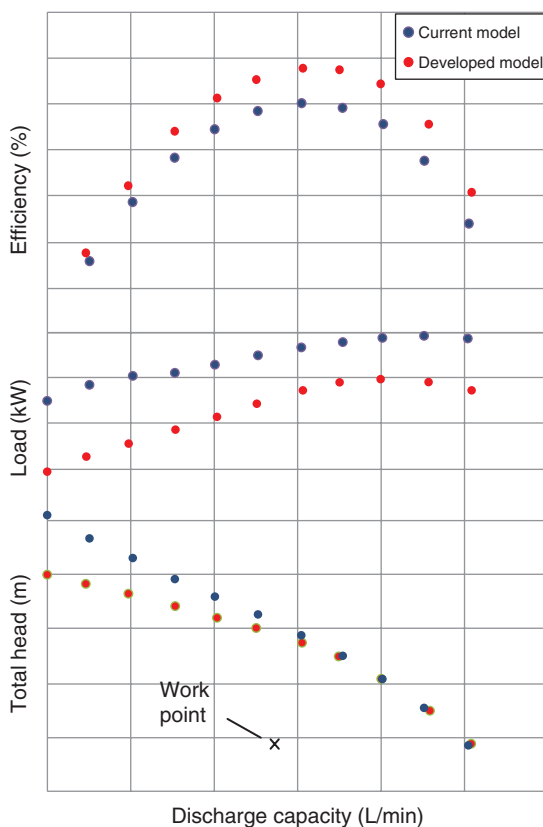


Fig. 21 Test result of pump performance

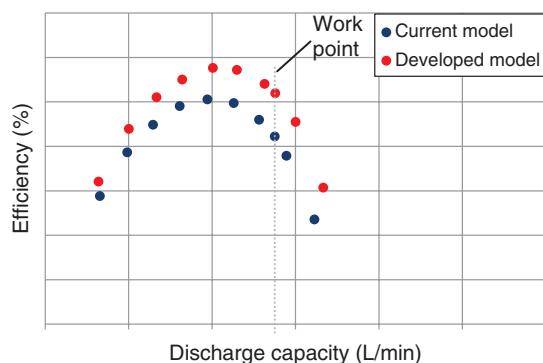


Fig. 22 Test result of pump efficiency at work point

	Engine	Work point CO (%)
Current model	GX160	4.7
Developed model	GX120	5.5

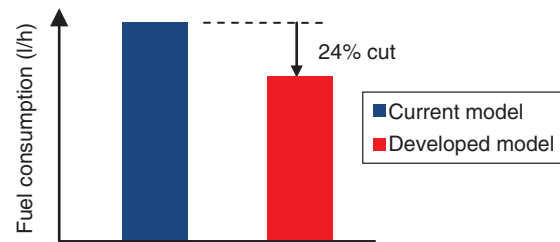


Fig. 23 Test result of fuel consumption at work point

5. まとめ

本開発は CFD 解析による予測技術を用いて低揚程灌漑作業に合わせて各要求性能を調整して燃費改善を達成するポンプの開発に挑戦した。その結果、8 ポイントのポンプ効率向上を達成し、小排気量エンジンの適用と空燃比の調整を合わせて、東南アジア地域の灌漑作業において実用燃費を 20% 以上改善する水ポンプを開発することができた。

自吸性能とキャビテーションの予測が今後の課題でありこれらの技術開発を達成することで、より精度の高い CFD 開発につなげていきたい。

参考文献

- (1) 小宮山宏: 人間活動の膨張の世紀, 地球持続の技術, 岩波新書, p.11(2007)
- (2) ターボ機械協会編: ターボ機械—入門編—〔新改訂版〕, 日本工業出版, p.234(2013)

著 者



秋山直寛



紺地隆秀