

環境対応型エンジン搭載 低騒音・大風量ブロワの開発

Development of Low-Noise and Large Air Volume Type Blower Equipped with an Environment-Friendly Engine

小林 武平
Buhei Kobayashi
中澤 敏
Satoshi Nakazawa
小野澤 成浩
Shigehiro Onozawa
澤田 俊治
Toshiharu Sawada

小型エンジン搭載の背負いブロワは、高作業能力が求められる一方、環境負荷低減の面で、排ガスのクリーン化と低騒音化に対する社会的要求が一層強まっており、これらの抜本的な改善が急務となってきた。高作業能力と低騒音の両立のためには、風量を低下させることなくファン騒音を低減することがキー技術となるが、これを具現化し、さらに米国第2次排ガス規制にも適合した低騒音・大風量のエンジンブロワを開発したので、その技術開発成果を報告する。

A backpack blower powered by a small utility engine requires high operating performance, while at the same time, the demand by society for cleaner exhaust gas and lower noise is ever more intensifying. Thus, it was incumbent upon us to innovate the changes that would simultaneously satisfy all three requirements. To establish compatibility of higher operating performance with lower noise, a key technology is required that enables reduced fan noise without lowering its air volume. We have successfully solved this problem, and as a result, we have developed an engine blower of lower noise and large air volume that conforms to the Phase 2 emission regulations in the United States. This is a report on the results of that technological development.

Key Words: CFD, Emission Reducing Technology, Low-Noise Machine, Noise Reducing Technology

1. はじめに

小型2サイクルエンジン搭載の背負いブロワ(図1)は、米国におけるランドスケイピングビジネスの拡大とともに高性能化を追求しつつ発展してきたが、近年、背負いブロワに対する要求は、高性能化に加えて、低騒音による環境負荷低減や排ガス浄化による地球環境保全が強く求められてきている。

21世紀を迎えて、背負いブロワを含む小型農林業機械に対しても、かつての性能・生産性追求一辺倒から環境への配慮が求められるようになり、稼働現場周辺の地域住民に優しいことが、当たり前のこととして捕えられるようになってきた。

当社ではかねてより、地球環境と人に優しい商品の研究開発に取り組んできたが、これを具現化した環境対応型エンジン搭載の低騒音・大風量ブロワを開発したので、CFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)の適用事例を中心に、その技術開発成果を報告する。

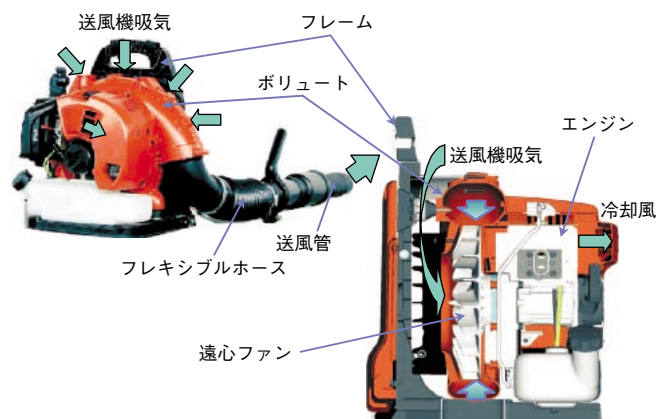


図1 エンジン搭載背負いブロワの構造

2. 排ガス、騒音規制の動向

2.1 排ガス規制の動向

小型2サイクルエンジンは、軽量、コンパクト、高出力重量比という利点を持ち、小型農林機器用のパワーユニットとして幅広く使用されている。また、構造がシンプルであり、低コストであることも大きな利点となっている。その反面、構造上、シリンダに給気された混合気の一部がそのまま排気ポートへ流出してしまう、いわゆる吹き抜けと呼ばれる現象が起これ、未燃ガソリン成分がTHC(全炭化水素)として大気中に放出されるため、地球環境保全、健康影響の面より近年大きな問題となってきている。

これらの状況をふまえて、米国では、2000年にCARB(カリフォルニア州大気資源局)により18.6kW以下の小型オフロードエンジンにTier II 排ガス規制が施行され、2002年にはEPA(米国環境保護庁)により19kW以下の小型オフロードエンジンに対するPhase2排ガス規制が施行された。その規制値は、第1次規制の1/3以下のTHC排出率と大幅に強化されており、通常の小型2サイクルエンジンで達成することは、ほとんど不可能なレベルとなっている。(図2)

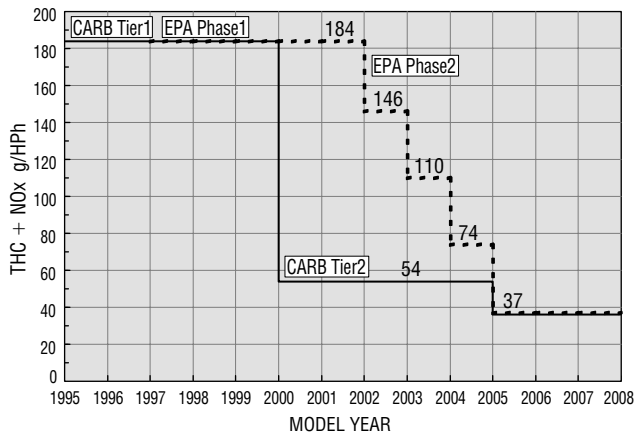


図2 米国小型エンジン排ガス規制の推移 (20~50cc)

一方、EUにおいても、遅くとも2008年にはEPAのPhase2排ガス規制に準拠した、小型オフロードエンジンに対する第2次排ガス規制が開始される予定であり、小型エンジンの低エミッション化は時代のトレンドとなっている。

2.2 騒音規制の動向

ランドスケーパーが、緑のメンテナンスに高頻度で使用する背負いエンジンプロワは、早朝から住宅地、および住宅地周辺で使用されることが多い。

それ故、主要市場である米国においては、稼働現場周辺の地域住民からの苦情、訴訟により市、郡レベルでのエンジンプロワ使用禁止、使用時間制限、周囲騒音の規制が顕在化しており、近い将来には州、連邦レベルでの周囲騒音規制の施行が予想される状況にある。

3. 開発のねらい

このような背景に基づき、開発のねらいを次のように設定した。

3.1 排ガス規制対応

THC排出率低減のために、掃気方式として、現行のシニューレ方式に対し空気先導式の層状掃気方式を採用した。図3に層状掃気エンジンの作動概念図を示す。現行の2サイクルエンジンと層状掃気2サイクルエンジンが大きく異なる点は、先導空気導入口がピストン側面のグループを介して掃気ポートに接続されていることである。

現行の2サイクルエンジンは、ピストンが上死点へ移動するときクランクケース内が負圧になることを利用して、クランクケース内に混合気を吸気する(吸気行程)。そしてピストンが下死点方向に移動しながらクランクケース内の混合気を圧縮し、掃気ポート開口時にクランクケースからシリンダ内に混合気が導入され、燃焼ガスを押し出しながらシリンダ内に充てんされる。この掃気行程では、掃気ポートと排気ポートが広範囲でオーバーラップしているために燃焼ガスとともに混合気も排出される。

それに対して、層状掃気エンジンでは、ピストンが上死点へ向かう吸気行程時に、クランクケース内に混合気が、掃気ポート内には先導空気ポートから空気が充てんされる。次に、ピストンが下死点へ向かって動き、掃気ポート開口時に、まず掃気ポート内の空気がシリンダ内に導入され、燃焼ガスを押し出す。その後、混合気がシリンダ内に充てんされるため、混合気の吹き抜けが低減され、現行シニューレ掃気方式の2サイクルエンジンに対して、THC排出率の著しい改善が期待できる。

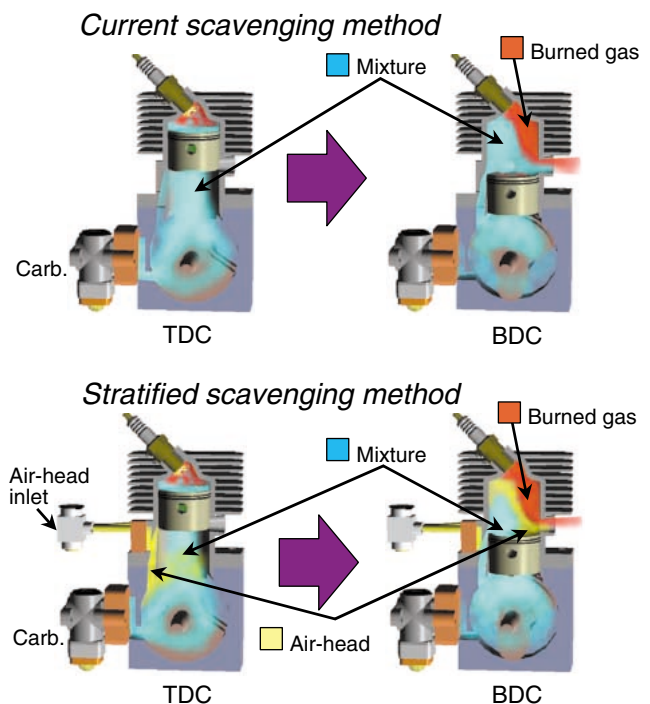


図3 層状掃気作動概念図

3.2 低騒音化と大風量の両立

小型エンジン搭載プロワの場合、通常、各騒音源の寄与量は図4に示すように、①ファン騒音、②エンジン排気騒音、③エンジン固体放射騒音、④エンジン吸気騒音、⑤送風機固体放射騒音の順で大きく、ファン騒音をいかに低減できるかが、キーとなる技術課題である。

また、ファン騒音の大半は、送風用の空気を取り入れるインレット部(ボリュート部吸気口)とそれを排出するアウトレット部(送風管出口とエンジン冷却風開口部)から放射されるので、その部位をいかに対策するかが課題となる。

一方、小型エンジン搭載プロワは、生産財としての作業機械であることより、高作業能力化のニーズが高く、これにこたえるために新モデルでは大風量化を図ることが多い。このため、さらにファン騒音が大きくなってしまおうというジレンマを抱えることになる。

この“風量の増加と騒音の低減”という相反事象を両立させて、周囲騒音を低減することを実現すべく、開発を実施した。

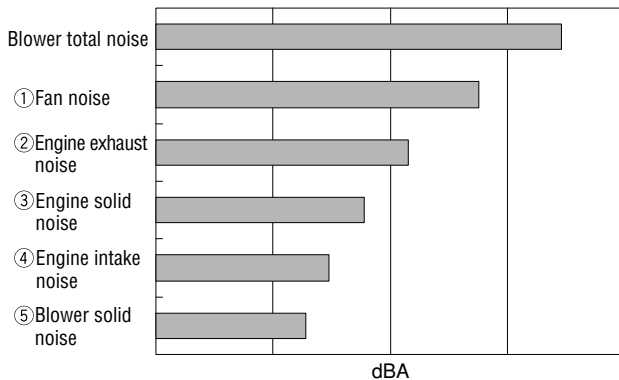


図4 エンジンプロワの音源別寄与量

4. 技術開発の実施内容

4.1 層状掃気による混合気吹き抜け量の低減

今回の開発においては新方式の層状掃気機構を採用したため、CFDによる移動境界解析を実施し、エンジンの吸気、掃気、排気の各パラメータの最適化を図った。

図5に、現行のシニューレ掃気方式に対比する形で、層状掃気方式の混合気吹き抜け解析を実施した一例を示す。

ATDC (After Top Dead Center) 180°時で、現行掃気方式はかなりの割合の混合気が充てんされているのに対して、層状掃気方式は混合気に先立って先導空気が供給されているため、混合気が、現行掃気方式に対して遅れて供給され始めていることが分かる。この遅れにより混合気の吹き抜け開始のタイミングも遅くなり、混合気の吹き抜け量が減少することが、解析結果から読み取れる。

図6に層状掃気エンジンによる排ガス計測結果を示す。THC排出率は、従来エンジンの1/3以下となっており、米国第2次排ガス規制を達成することが可能となった。

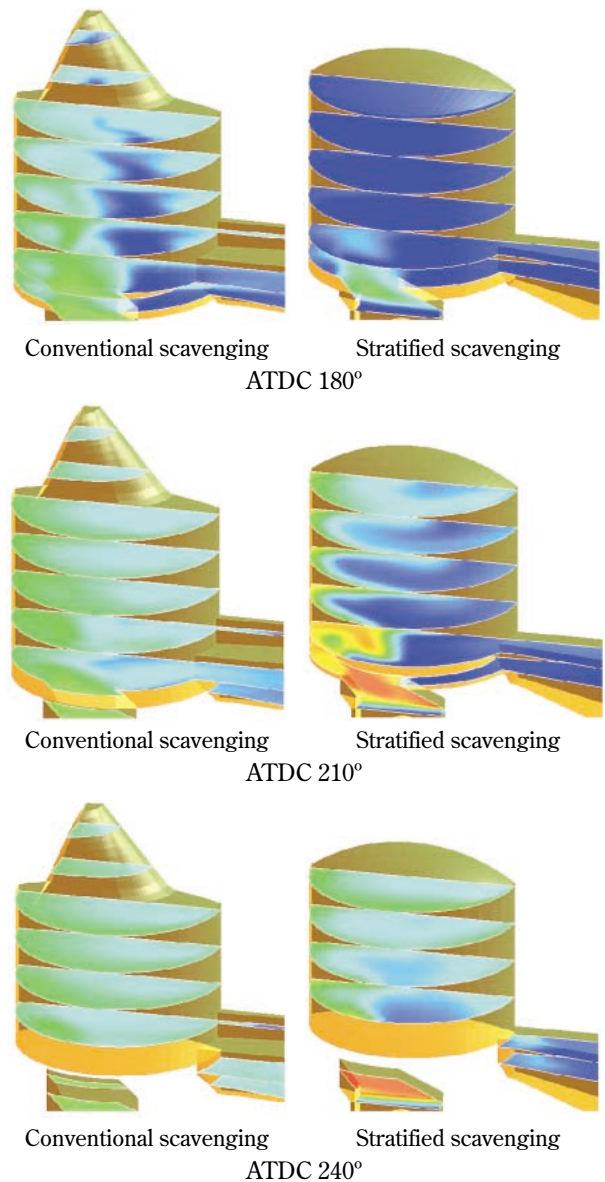


図5 解析結果例：混合気分布比較

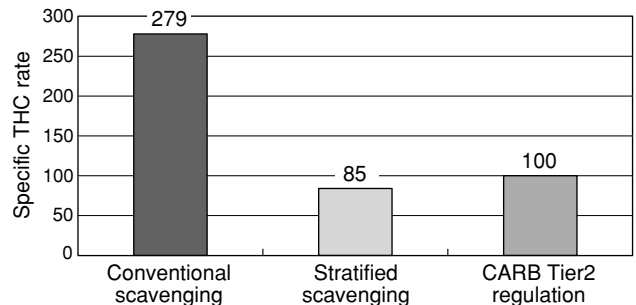


図6 排ガス性能比較

4.2 ファン音の低減

4.2.1 ボリュート舌部形状の最適化

従来の舌部形状では、ファン一次のディスクリット成分音が卓越して高いため、CFDによる解析を実施した。計算時間およびモデル作成時間を考慮して、2次元断面に対し解析を実施した。図7に解析結果の一例を示す。

CFD解析を実施するまでは、ファン音の音源としては羽根と舌部の間に生じる周期的な圧縮が主原因と考えていたが、本解析により、舌部付近を羽根が通過するときに生じる舌部外側の周期的な剥離がファン音に大きく寄与していることが判明した。

対策としては、図7の改良型に示すように、舌部Rの拡大により、剥離が発生しにくい形状とした。

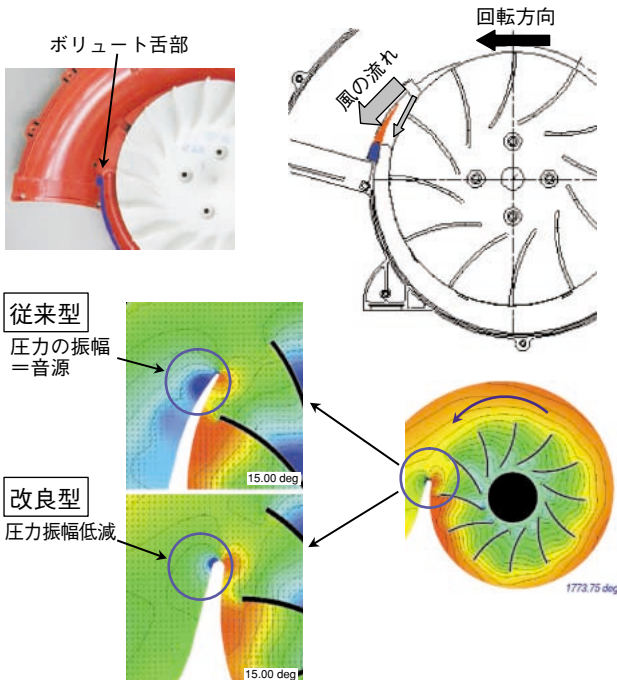


図7 舌部形状の最適化

4.2.2 ファン羽根枚数、形状の最適化

風量アップのためにCFDにより羽根形状の検討を実施した。図8に解析例を示す。本解析も2次元断面に対し解析を実施した。解析結果から、従来型は剥離領域が大きく、ファン効率低下の要因となっていることが判明したので、剥離低減を目的として解析を進めた。エンジンプロワでは回転数が羽根負荷とスロットル全開時のエンジントルクのマッチングにより決定される。回転数上昇は騒音増加に結びつくため、羽根負荷の検討も重要である。本解析では羽根にかかる圧力よりトルクを算出して羽根負荷も検討した。解析の結果、剥離領域を削減することにより羽根負荷も減少し、回転数が上昇することが判明したため、羽根枚数を増やすことにより羽根負荷の調整を実施し、回転数の上昇を防いだ。また、剥離領域が減少した結果として、ファン一次成分音を大幅に低減することが可能となった。(図9, 図10, 図11)

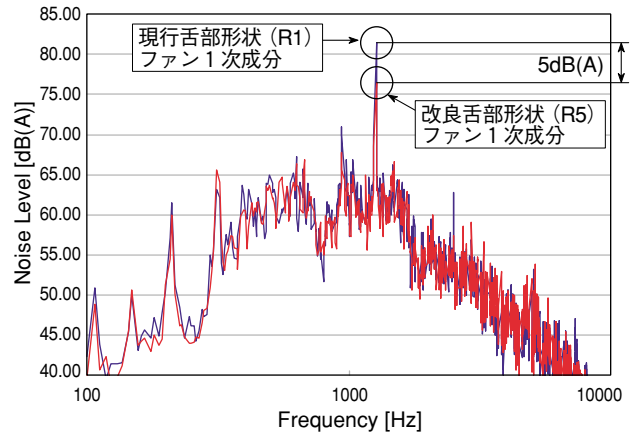


図8 舌部形状の相違によるパワースペクトラム

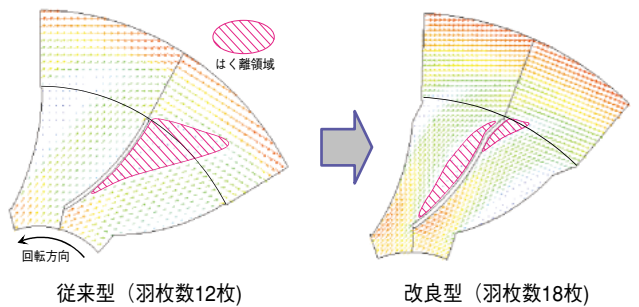
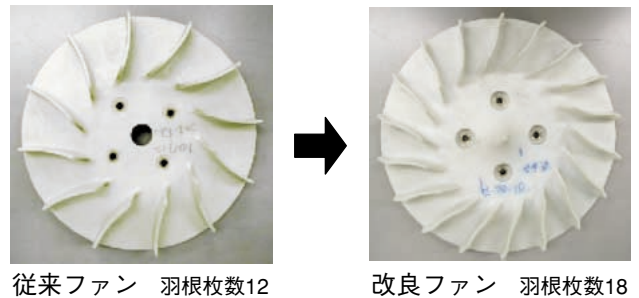


図9 ファン羽根枚数、形状の最適化



解析結果の整合性

	風量 (従来比) (m³/min)	
解析値	+0.6	3.7% UP
実測値	+0.3	2.4% UP

図10 ファン羽根枚数、形状の比較

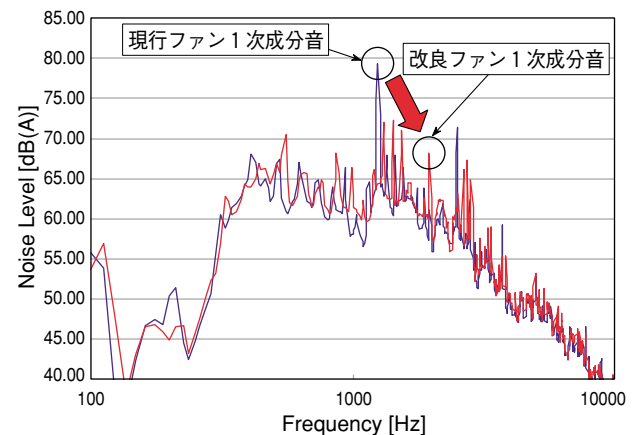


図11 羽根枚数、形状の相違によるパワースペクトラム

4.2.3 フレキシブルホース形状の最適化

風量アップのために、CFDによる送風管の断面形状改良を実施した。図12に解析例を示す。従来型の解析結果からフレキシブルホース出口部の圧力損失が大きいことが判明したため、解析により図12の改良型の様にフレキシブルホース形状の改良を実施した。

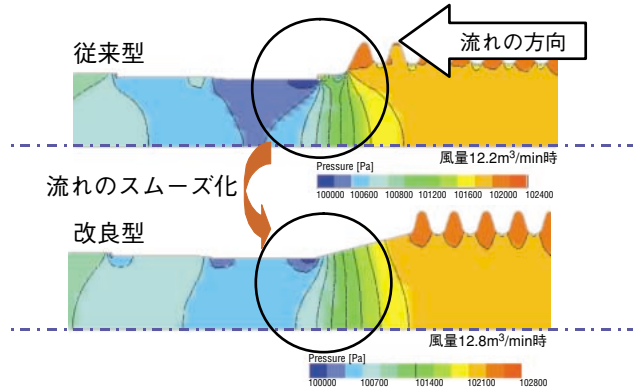


図12 フレキシブルホース形状の最適化

4.2.4 送風空気インテーク形状の最適化

送風空気インテークについて、CFDを用いて形状検討を実施した。本解析ではファンの回転を考慮せず、静的な条件で解析を実施している。図13に解析結果を示す。本解析結果から流れの剥離がポリウレタンカバー入口部とファン中央部に見られるため、改良型では入口部に対してはファネルを、ファン中央部に対しては図のような円錐形状の突起を付加することにより剥離低減を実施した。

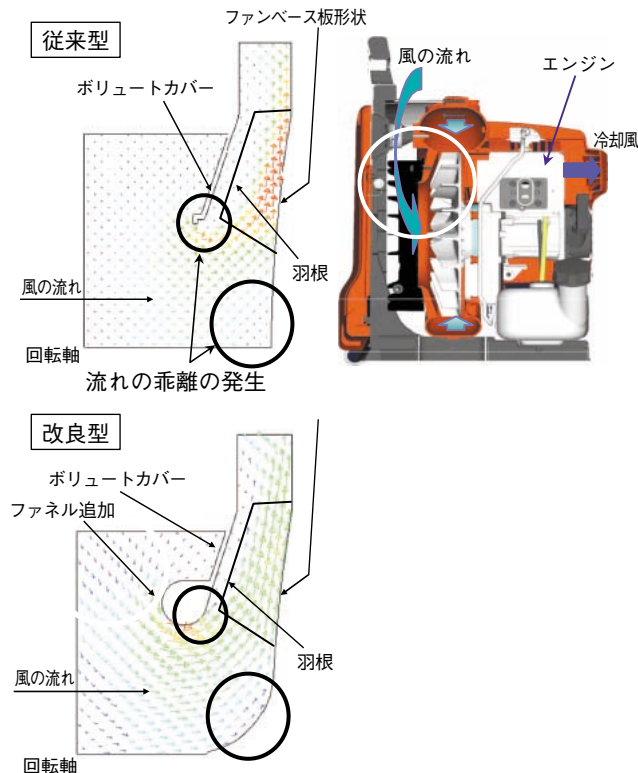


図13 送風空気インテーク形状の最適化

4.3 その他の音源対策

今回の開発における音源対策としては

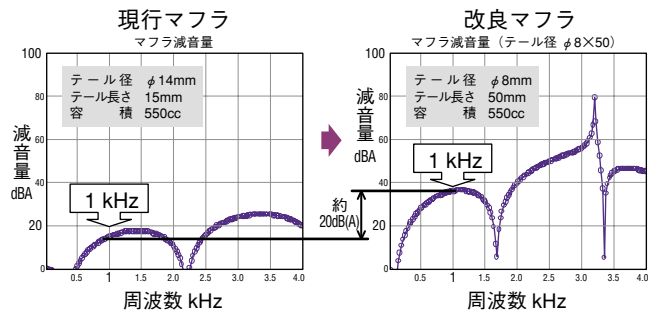
- ①ファン騒音
- ②エンジン排気騒音
- ③エンジン固体放射騒音
- ④エンジン吸気騒音
- ⑤送風機固体放射騒音

のすべてについて実施しているが、ここでは二番目に寄与度の高い排気音の音源対策について紹介する。

対策手法としては、4端子マトリクスを用いた減音量計算を行い、対象エンジンの排気音の周波数成分に応じて、マフラ内部構成部品のチューニングを実施した。

図14に従来マフラと改良マフラの計算による減音量比較を示すが、エンジン排気音の寄与率の高い1 kHz付近で約20dBの減音量増加が達成されている。

図15に、計算値とスピーカを用いた実測値の対比を示すが、良好な一致が得られており計算モデルの妥当性を裏づける結果となっている。



エンジン排気音の周波数は1kHz付近に集中しており、1kHz付近で判断

図14 減音量計算事例

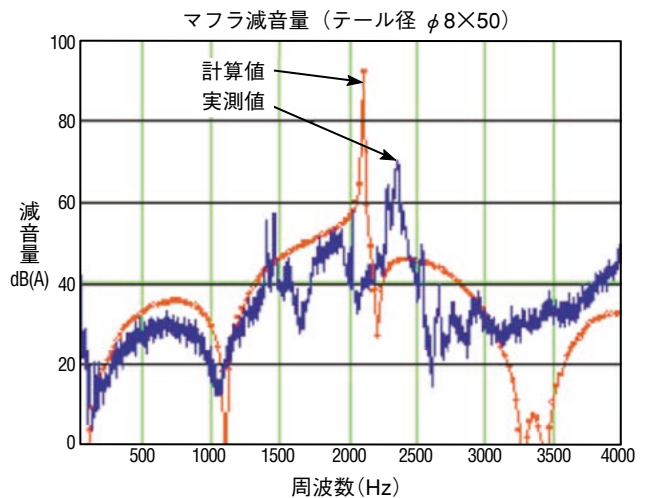


図15 計算と実測との減音量比較

5. まとめ

本稿では、エンジンブロワの排ガスクリーン化、低騒音と高作業能力(大風量)の両立のために実施したCFD活用事例を中心に報告した。

解析と実験を併用しながら、その技術開発成果を商品開発に織り込むことにより、以下の結果を得た。

- (1) 従来比70%減の排ガス(THC)低減を達成した。
- (2) ファン騒音の低減を主として、エネルギー量で従来比70%減($\Delta 5.3\text{dBA}$)の騒音低減を達成した。
- (3) フレキシブルホース形状、送風空気インテーク形状の最適化を図り、従来比10%増の風量を達成した。

本開発商品は、2001年11月より米国へ市場導入されており、高い評価を頂いている。今後、ここに報告したシミュレーション手法を商品開発の都度適用し、さらなる排ガス、騒音の低減を図っていく。

筆者紹介



Buhei Kobayashi

こばやし ぶへい
小林 武平 1994年、小松ゼノア(株)入社。
現在、コマツゼノア(株)開発本部試験研究室所属。



Satoshi Nakazawa

なか さわ さとし
中澤 敏 1991年、小松ゼノア(株)入社。
現在、コマツゼノア(株)開発本部農林機器開発室所属。



Shigehiro Onozawa

おのざわ しげひろ
小野澤 成浩 1989年、小松ゼノア(株)入社。
現在、コマツゼノア(株)開発本部試験研究室所属。



Toshiharu Sawada

さわ とし はる
澤田 俊治 1979年、小松ゼノア(株)入社。
現在、コマツゼノア(株)開発本部農林機器開発室所属。

【筆者からひと言】

種々の制約条件をクリアして、解析の成果や技術開発成果を商品開発に織り込むことは存外難しいことである。今回の開発は、解析グループと商品開発グループの協業によって行われ、多大の成果を上げることができた。

お互いの利害を克服しながら、“最初の志の高さ”と“最後まであきらめない粘り”が実を結んで、所期の開発目標を達成できたことは、技術者にとってかけがえの無い経験であった。

今後とも、最新の解析手法と知見を駆使しつつ、「一度これを使ったら、他のものは使う気になれない」と世界中のお客様に言っていただけのような、驚きと感動を与えられる商品を開発していきたいと考えている。