

省エネ大型ファンの開発

－30%の省エネ達成－

2011年11月29日

株式会社MTI 技術戦略グループ
プロジェクトマネージャー 桑田敬司

1

© Copyright 2011
Monohakobi Technology Institute



目次

- I .はじめに
- II .省エネファン開発
 - 1. CFD解析
 - 2. 試作機試験/評価
- III .通風システム改善
 - 1. 通風・換気実態調査
 - 2. 管路抵抗の低減策/評価
- IV .トータル省エネ・防音効果の評価
 - 1. 省エネ効果
 - 2. 騒音低減効果
- V .まとめ

2

© Copyright 2011
Monohakobi Technology Institute



I. はじめに

自動車運搬船: 直径1.2m程の大型ファン 56台最上層に搭載



3

□ 何が課題？

(1) ファンの省エネ

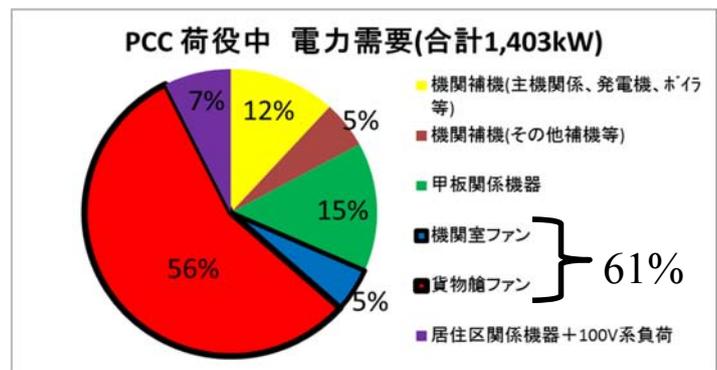
- ・ホールド換気用ファン : 50台 / 789kW
- ・機関室換気用ファン : 6台 / 69kW

TOTAL 858kW!!



- ・30%省エネ化:
▲260 kW 電力削減

荷役中のファン電力:
全電力需要の約60%!



(2) 騒音低減: 大型ファンはうるさい!

現行の90~85dB ⇒ ▲5dB以上削減

4

□ 開発ターゲット(ファンの省エネ/騒音低減)

1. ファンの効率向上: 20%
 - ・ここ数十年 ファン翼形状の改良・見直しが行われていない
 - ➡ ファン翼形状の最適化による効率向上

+

2. 通風システム改善: 10%
 - ・ダクトを含めたトータルシステムの見直し
 - ➡ ダクト抵抗損失低減

+

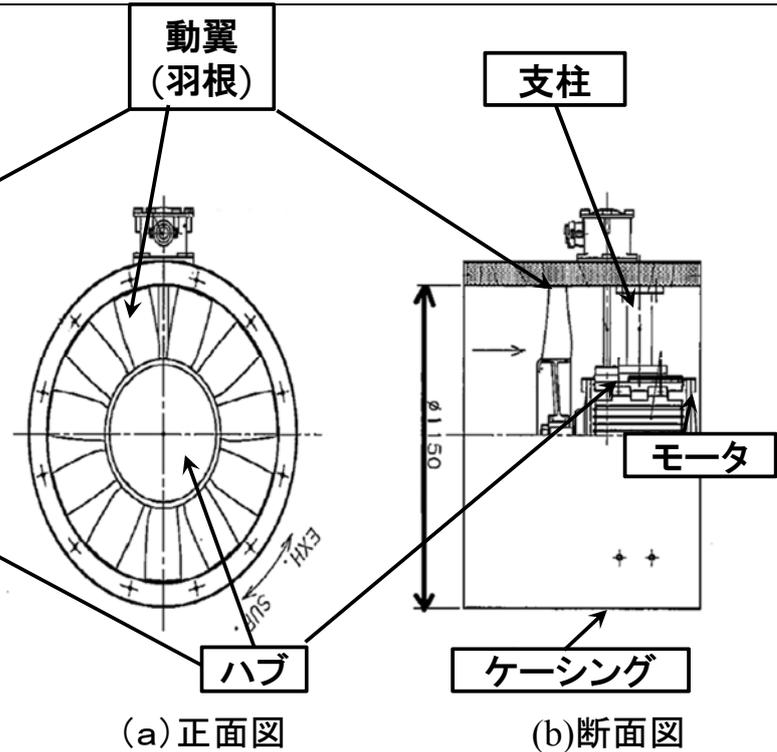
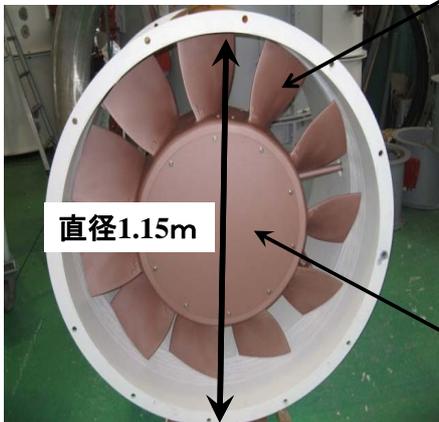
3. 上記に伴う騒音低減 ▲5dB+

Ⅱ.省エネファン開発

1. 現行ファン・各部名称の紹介
2. 新ファンのCFD新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価
3. 改良機のCFD解析・評価および試作機性能試験・評価

II-1 現行ファン・各部名称の紹介

現行ファン
(吸込み口から見た写真)



(a) 正面図

(b) 断面図

II-2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

(Computational Fluid Dynamics; 数値流体力学)

コンピューターを利用した数値流体力学解析手法
コンピューターで新設計翼の三次元モデルを作成し流場解析・性能評価を行う

今回は約25種類の羽根をまずCFD(計算)で評価 ⇒ 試作翼の絞込み

(1) 設計仕様

翼径1.15m、風量800m³/min、静圧392Pa

理由: 現行6200台積自動車船では上層から下層(高圧必要)まで一種類のファンで対応
とりあえずそのファンの仕様を省エネファンでも開発目標とした

(2) 解析手法

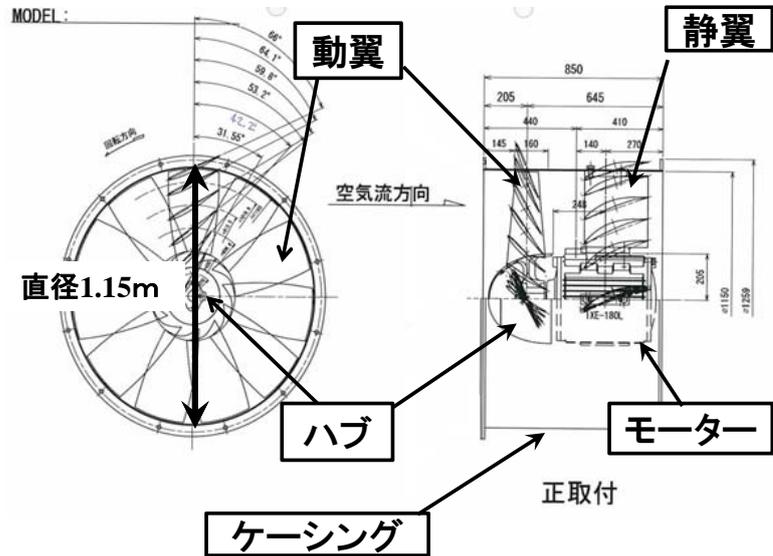
- 現行ファンの3Dモデル作成(ファン単体 及び 試験風胴)
- CFD解析に向け理論計算と現行ファンデータが一致するようCFDを調整
- 上記を用い各新翼の性能評価、絞込み

Ⅱ-2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

(3) 新翼解析/評価

CFD計算により、下記ファン性能構成要素の解析/評価

- ① 動翼(回転羽根)形状:
→ 翼効率向上
- ② 静翼(固定羽根)形状:
→ 流れの整流/推力増
- ③ ハブ径の小型化:
→ 翼面積増/静圧キープ
- ④ ハブ(キャップ)形状:
→ 抵抗低減



Ⅱ-2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

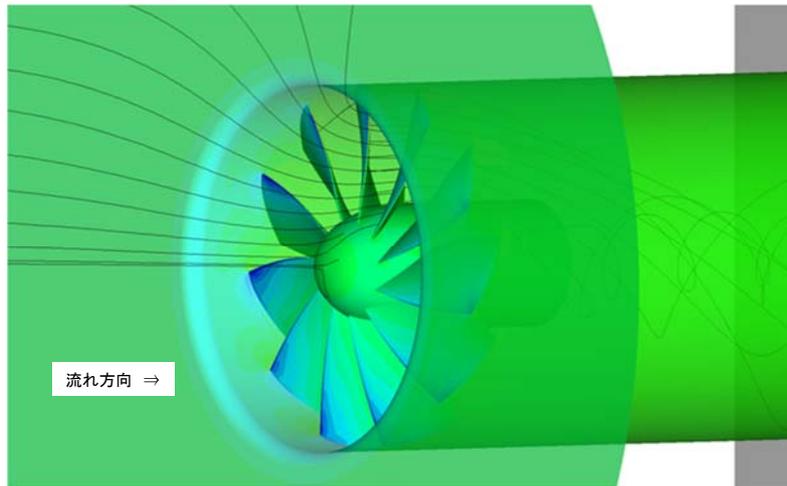
(4) 新型ファンコンセプト

モデル		現行ファン	新ファン
ファン直径		1.15m	1.15m
モーター出力		15kW	目標:11kW
動翼	羽根長さ	短い	長く
	羽根面積	小さい	大きく
	迎え角	大きい	少し小さく
	翼断面	—	変更
静翼		—	モータ支柱を静翼形状化
ハブ	サイズ	大型	小型化
	形状	ドラム形状	流線円錐形状化

Ⅱ-2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

(5) 新ファン CFD3次元解析モデル例

全周翼解析(流線)



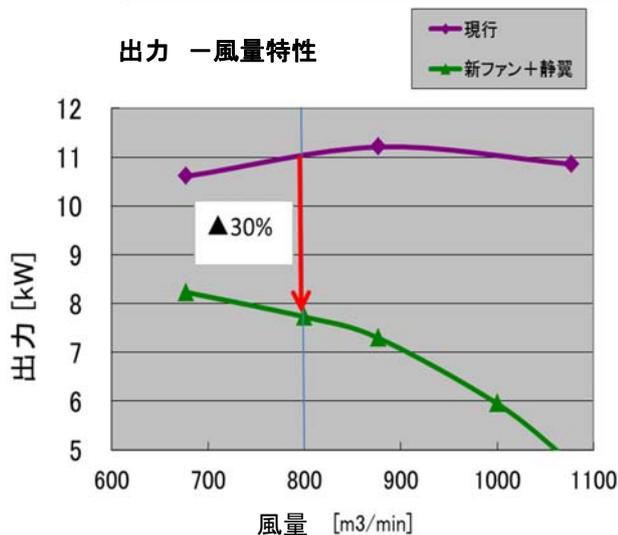
(a)新ファン

Ⅱ-2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

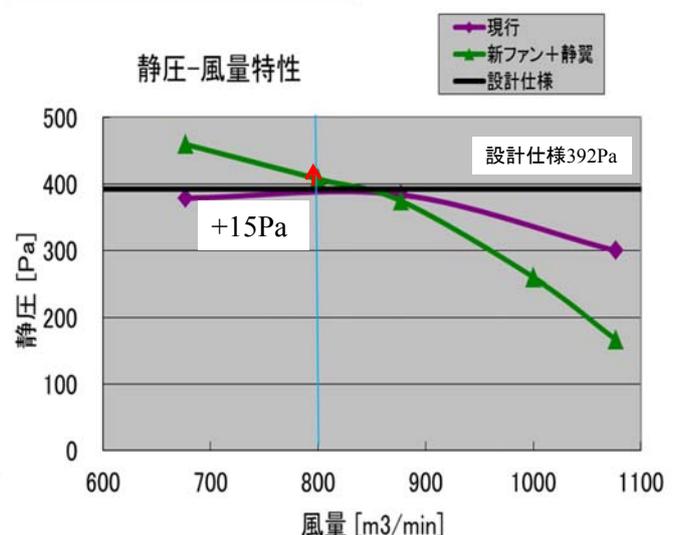
(6) 新ファン CFD計算結果(現行vファン/新ファン比較)

現行比: 電力削減▲30% 静圧407Pa(392Paに対し+15Pa)

と、▲30%省エネ達成 しかも 圧力もクリアとの計算結果 … but



(a)出力-風量特性

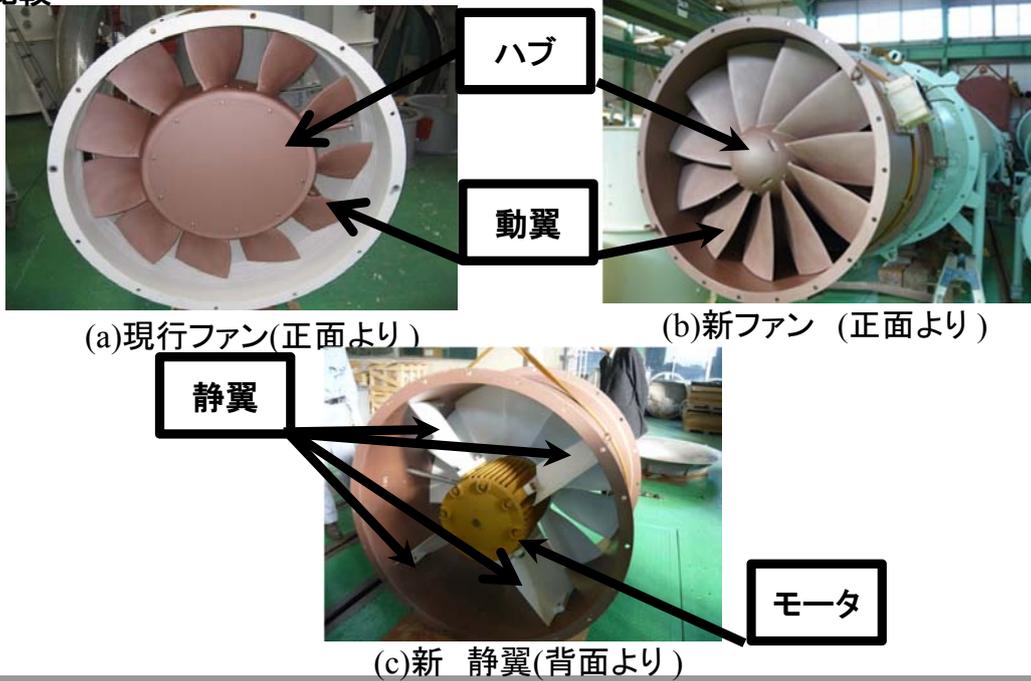


(b)静圧-風量特性

Ⅱ - 2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

(7) 新ファン 試作機性能試験・評価

1) 新旧比較



Ⅱ - 2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

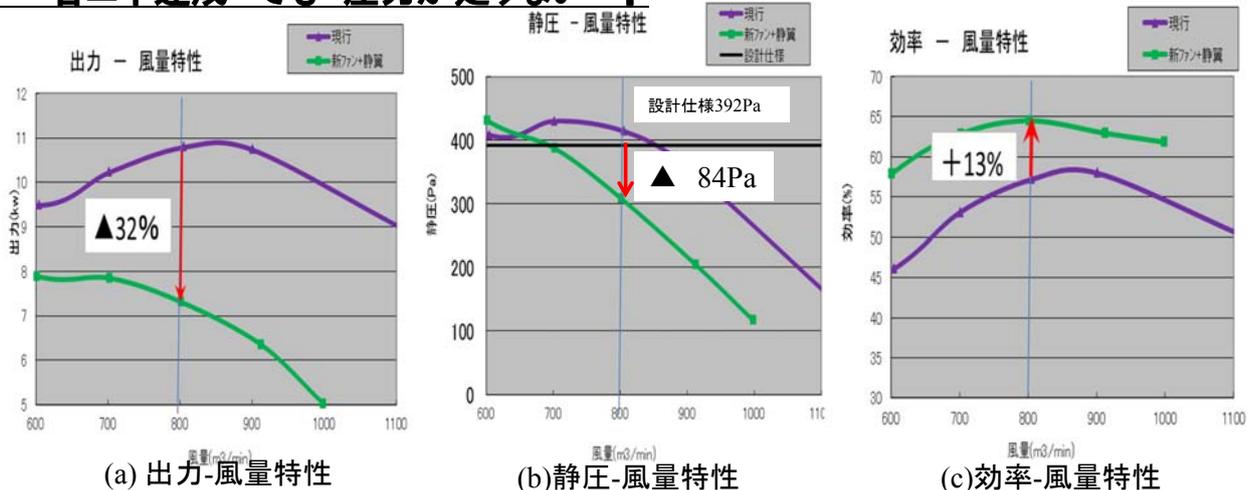
(8) 性能試験結果 (新ファン単体 ; 現行ファン比)

新ファン: 電力削減 $\blacktriangle 32\%$ (CFD予測値 $\blacktriangle 30\%$)

効率向上 $+13\%$

静圧 $\blacktriangle 84\text{Pa}$ (CFD予測値比 $\blacktriangle 100\text{Pa}$)

省エネ達成 でも 圧力が足りない !

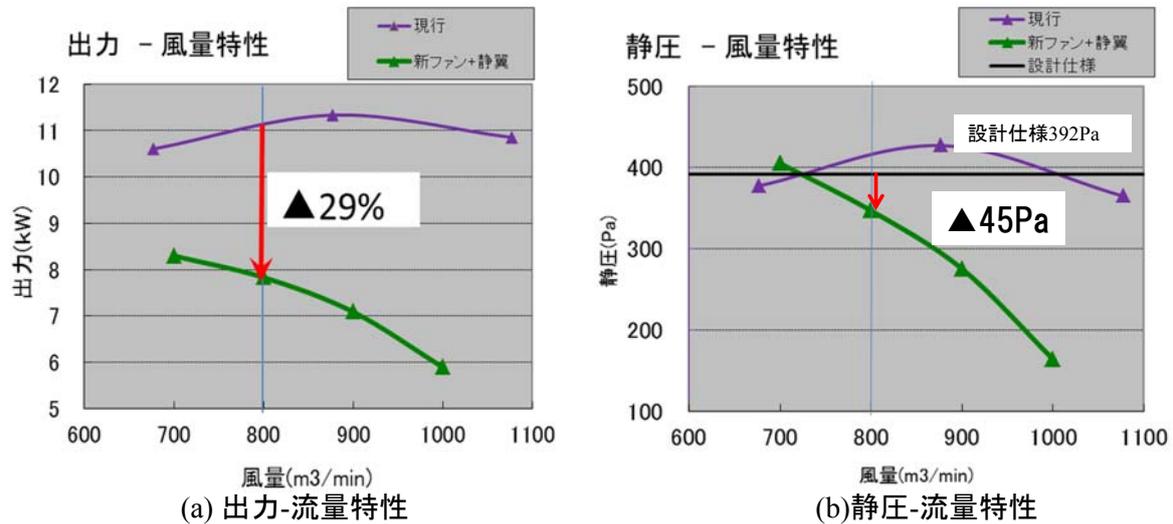


Ⅱ - 2 新ファンのCFDによる新翼性能解析・評価および試作機性能試験・評価

(9) CFD計算の見直し : 実験結果をもとにCFD調整

実験結果をもとにCFD計算を調整 それを用い新ファン再計算 ⇒精度アップ
結果 現行比: 電力削減▲29%、 静圧(392Paに対し) ▲45Pa不足との予測

・ ・ まだ模型試験と比し、圧力はやや高めにできるがかなり改善



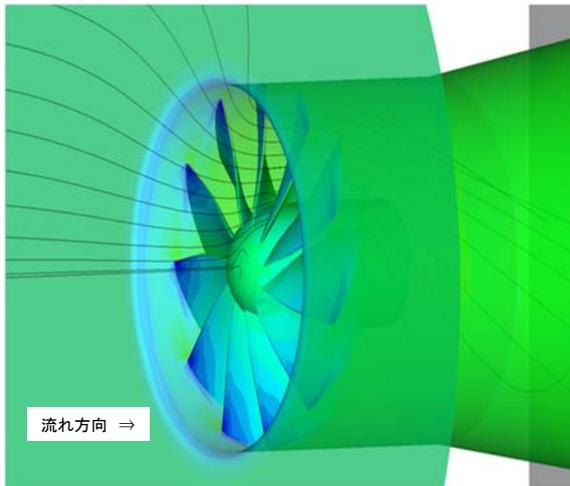
Ⅱ - 3 改良機のCFD解析・評価および試作機性能試験・評価

(1) 改良ファンコンセプト ➡ 必要電力増えても 静圧を上げる！

モデル		新ファン	新ファン(高圧)
ファン直径		1.15m	←
モーター出力		目標: 11kW	←
動翼	羽根長さ	長く	←
	羽根面積	大きく	より大きく
	迎え角	少し小さく	より大きく
	翼断面	変更	現行ファンに同じ
静翼		モータ支柱を静翼形	←
ハブ	サイズ	小型化	←
	形状	流線円錐形状化	←

Ⅱ-3 改良機のCFD解析・評価および試作機性能試験・評価

(2) CFD解析および試験機試験



(a)新ファン(高圧)
(CFD 3次元解析モデル例)

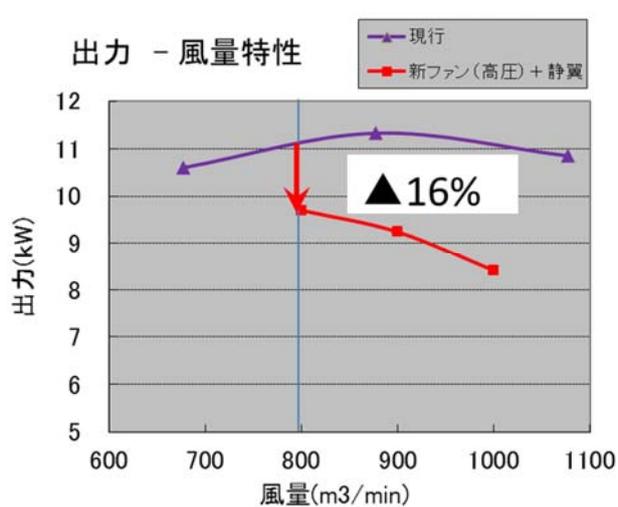


(b)新ファン(高圧)(正面より)

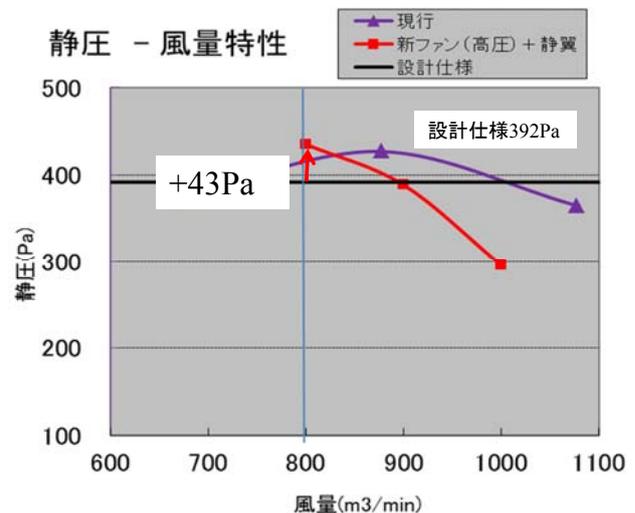
Ⅱ-3 改良機のCFD解析・評価および試作機性能試験・評価

(3) CFD計算結果(現行ファン/新ファン(高圧)比較)見直しCFD使用

現行比: 静圧+43Pa 高い but 電力削減▲16%に留まる
 圧力回復 でも 省エネ率は半減との予測 … さて 実際は？



(a) 出力-風量特性



(b) 静圧-風量特性

Ⅱ-3 改良機のCFD解析・評価および試作機性能試験・評価

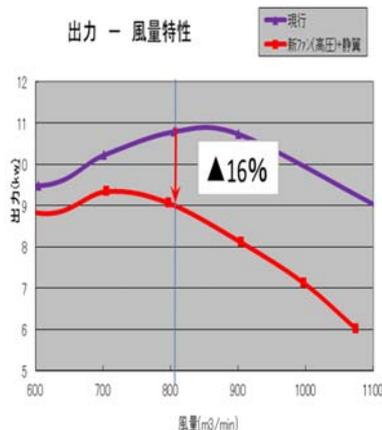
(4) 性能試験結果(新ファン(高圧)単体)

■改善効果 (現行ファン比)

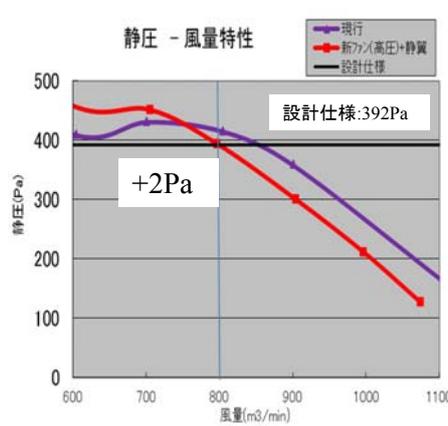
新ファン(高圧) : 電力削減 ▲16% (CFD予測値 ▲16%)

効率向上 +12%

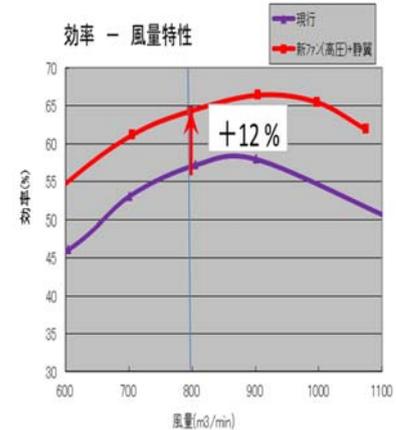
静圧 +2Pa (CFD予測値比▲42Pa)



(a) 出力-風量特性



(b) 静圧-風量特性



(c) 効率-風量特性

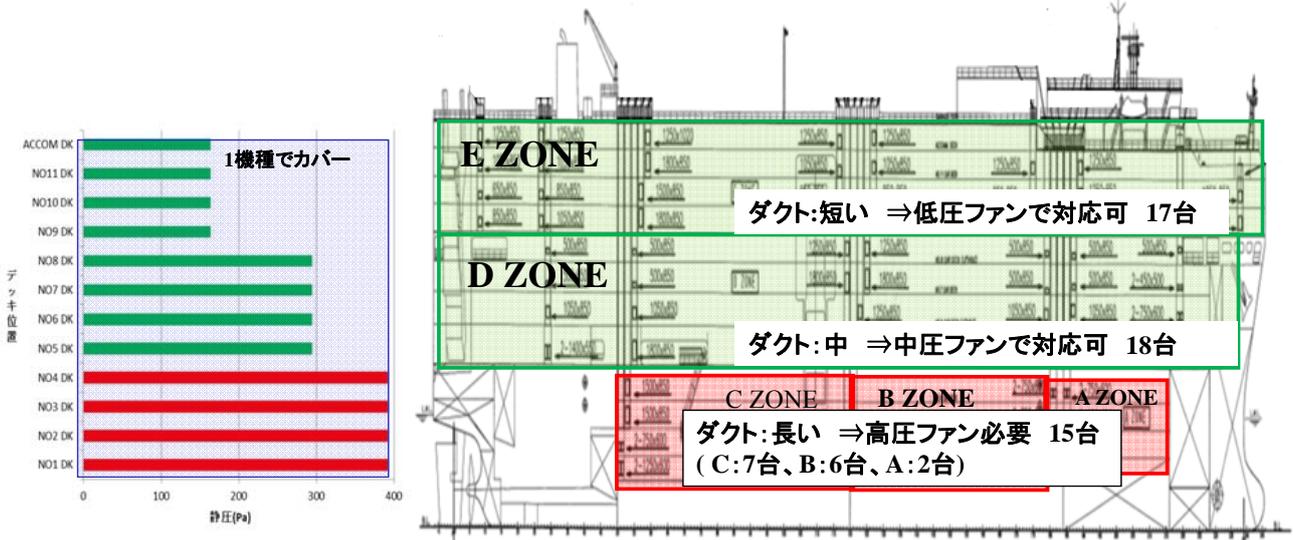
Ⅲ. 通風システムの改善

1. 通風・換気システム実態調査
2. 管路抵抗の低減策/評価

Ⅲ-1 通風・換気システム実態調査

(1) ファン設置状況:

上から下まで全ホールドを5区画に区分、50台のファンとダクトで通風
 上部ホールドほど高い圧力(大電力)のファンは必要ない
 でも、実際は全区画を1種類の高圧ファンで通風(ファンの選択肢無い)

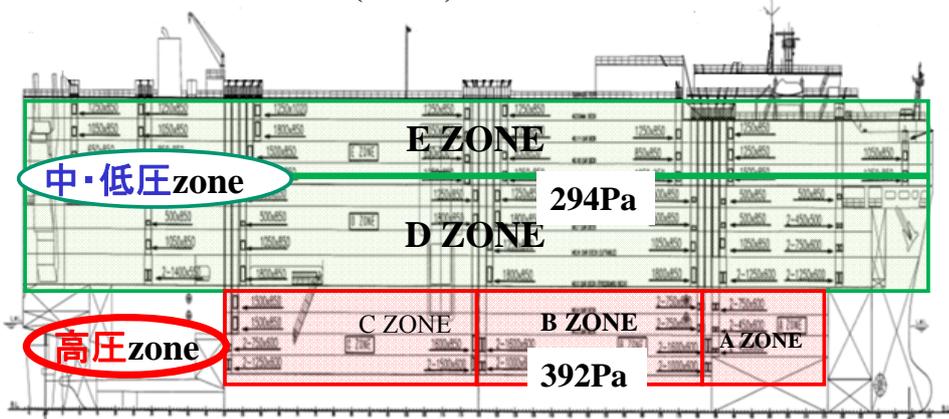


Ⅲ-1 通風・換気システム実態調査

(2) ファン設置状況:調べて分かった事

現在:全ホールドを1種類の高圧ファンで通風
 将来:今回開発した2種類の省エネファンで通風

中・低圧zone ファン35台(70%) ・・32% 高省エネファン使用
 高圧zone ファン 15台(30%) 16% 省エネファン使用



Ⅲ-1 通風・換気システム実態調査

(3) 新ファンの合理的配置シミュレーション結果

1) 全ホールドに新ファン(高圧)のみ使用 ⇒省エネ▲16%に留まる

2) 上部ホールドに新ファン

下部ホールドに新ファン(高圧)使用 ⇒省エネ▲26%が可能

	ファン台数	付加物なし	
		上層:新ファン +下層:新ファン(高圧)	全て:新ファン(高圧)
下層(A/B/C)の電力削減ファン	15	16%	16%
上層(D/E)電力削減省エネファン	35	32%	16%
機関室(下層)の電力削減省エネファン	6	16%	16%
省エネファン電力量合計(kW)	858 kW	631 kW	720 kW
電力削減量(kW)	—	▲ 226 kW	▲ 137 kW
電力削減率(%)	—	▲ 26 %	▲ 16 %



Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

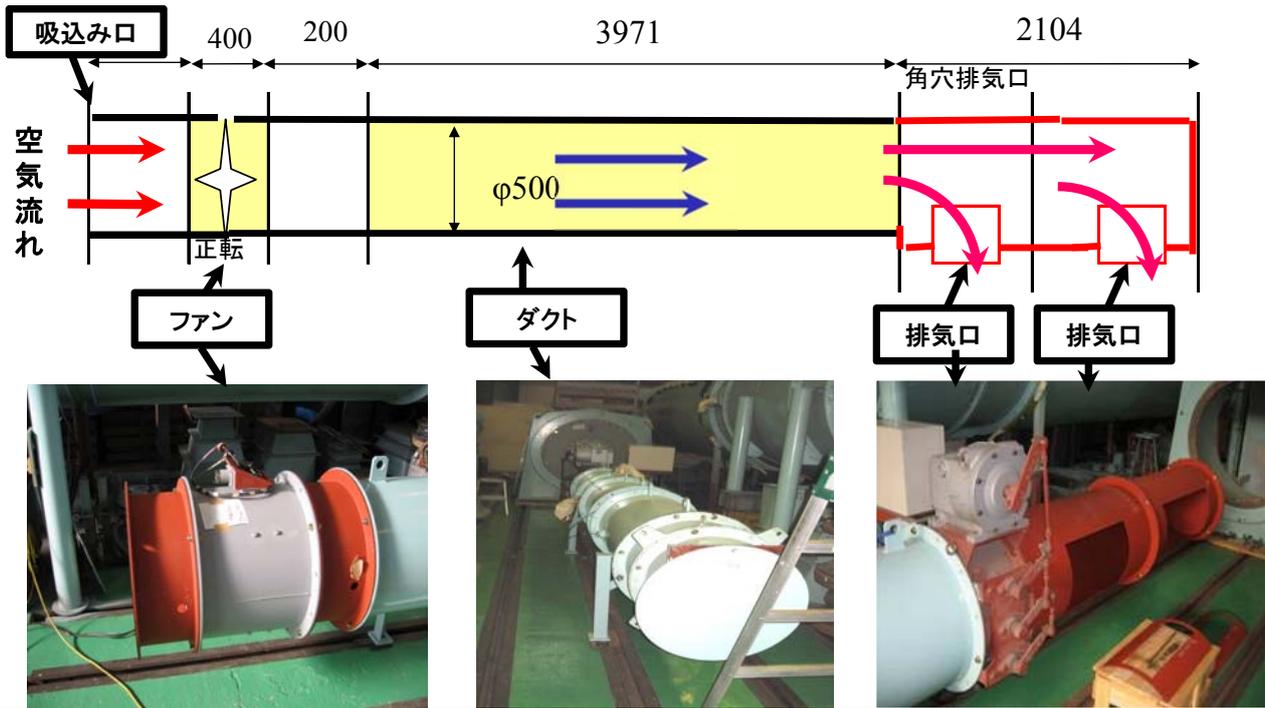
- ・ダクトの形状により抵抗係数は違う(出典:「流体のエネルギーと流体機械」)
- ・流れを急激に変化させる形状は抵抗が大きい

管の形状	形状図	抵抗係数	管の形状	形状図	抵抗係数
円形管の折り継ぎ		0.87 流れを滑らかに	長方形管の折り継ぎ		1.1~1.3 流れを滑らかに
円形の曲管		0.15~0.75 ($r/D = 2 \sim 0.5$)	同上 案内羽根付き		1枚0.56 2枚0.44
急な縮小入口		0.5	ベルマウス入口		0.03 吸込みを滑らかに



Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

(1) 抵抗低減付加物の効果試験

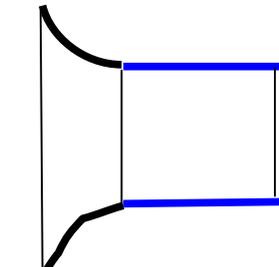


Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

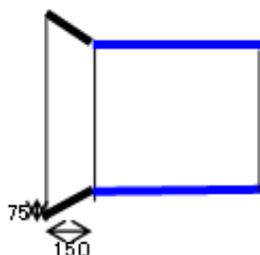
(2) 付加物装着の評価

a) 吸込み部付加物の評価

ベルマウス
R=20、75、150

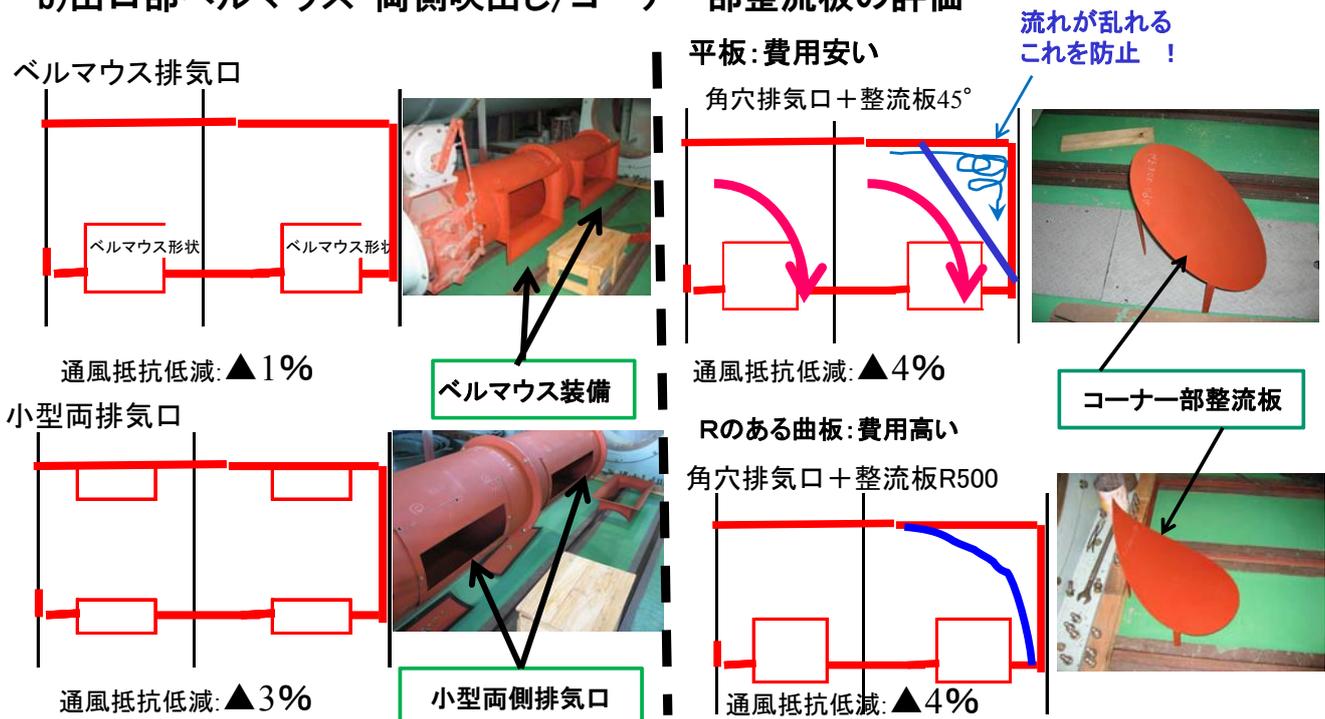


メーカー標準ホツパ



Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

b) 出口部ベルマウス・両側吹出し/コーナー部整流板の評価



Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

(3) 抵抗低減付加物試験結果(11ケース)

・費用vs効果の最も高いのは 吸込み口ホツパの装備 通風抵抗低減▲9%

実験番号	試験内容	吸込み口付加物	排気口付加物	通風抵抗低減率(%)
1	吸込み	ベルR20 (直径比4%)	-	7%
2		ベルR75 (直径比15%)	-	12%
3		ベルR150(直径比30%)	-	12%
4	斜板	-	整流板45°	4%
5		-	整流板R500	4%
6	排気口	-	ベルマウス排気口	1%
7		-	両排気口	3%
8	組合せ	ベルR150	整流板45°	10%
9		ベルR150	両排気口	10%
10		ベルR150	ベルマウス排気口	11%
11		ホツパ	ベルマウス排気口	9%

ベルマウス、整流版を組み合わせても足し算の効果は得られなかった
→ 入り口部ベルマウス or ホツパ装備で十分

Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

(4) ベルマウス実物サイズ(ファン)での効果確認

- ・実物サイズの吸込み付加物の有効性を確認するため、試作機試験時に、ベルマウスおよびホッパの効果確認試験をおこなった



(a)新ファン+ベルマウス

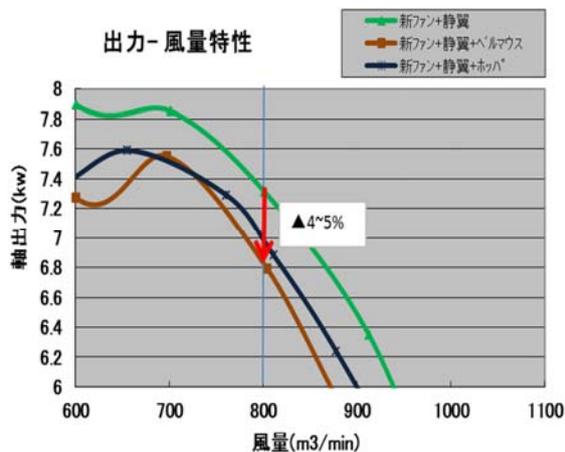


(b)新ファン(高圧)+ホッパ

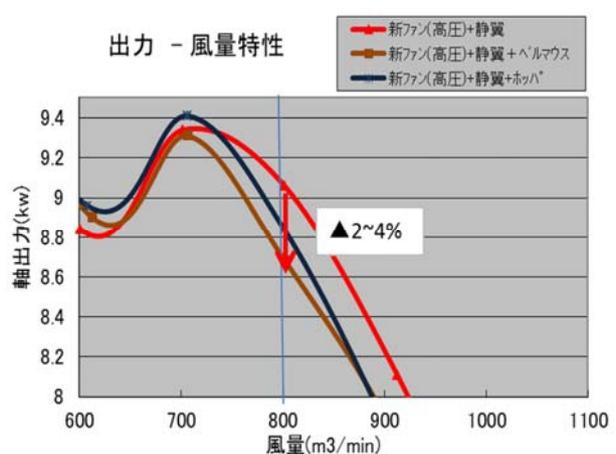
Ⅲ-2 管路抵抗の低減策/評価

(5) 吸込み口ベルマウス/ホッパ(単体)効果評価:実物モデル試験結果

- ・吸込みベルマウス装備 :省エネ ▲ 4~5%
- ・ホッパ :省エネ ▲ 2~4%



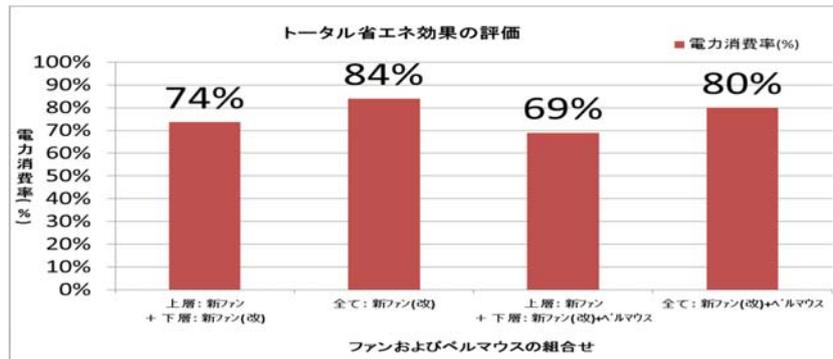
(a) 新ファンのベルマウス、ホッパ効果



(b) 新ファン(高圧)のベルマウス、ホッパ効果

IV. トータル省エネ効果の評価

IV-1 省エネ効果



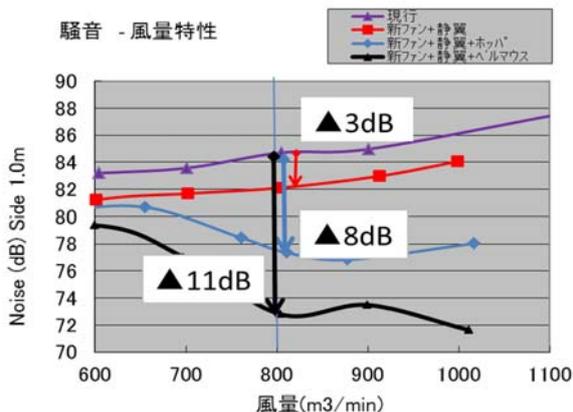
	ファン台数	付加物なし		ベルマウス	
		上層:新ファン +下層:新ファン(高圧)	全て:新ファン(高圧)	上層:新ファン +下層:新ファン(高圧)	全て:新ファン(高圧)
下層(A/B/C)の電力削減ファン	15	16%	16%	20%	20%
上層(D/E)電力削減省エネファン	35	32%	16%	37%	20%
機関室(下層)の電力削減省エネファン	6	16%	16%	20%	20%
省エネファン電力量合計(kW)	858 kW	631 kW	720 kW	592 kW	686 kW
電力削減量(kW)	—	▲ 226 kW	▲ 137 kW	▲ 266 kW	▲ 172 kW
電力削減率(%)	—	▲ 26 %	▲ 16 %	▲ 31 %	▲ 20 %



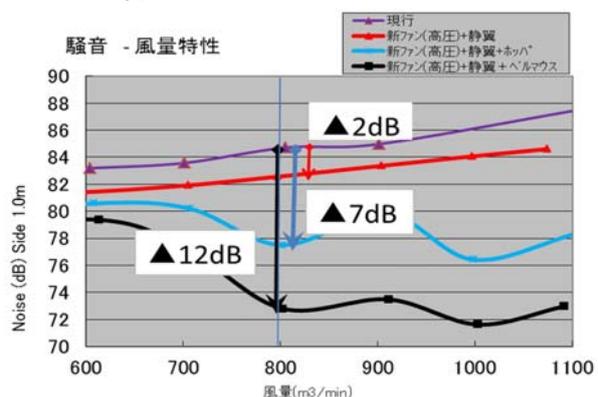
IV. トータル省エネ効果の評価

IV-2 騒音低減効果

現行ファン騒音: 85db ■低静圧型ファン: ファン単体 ⇒ 82dB ▲ 3dB
 (新ファン) ベルマウス付 ⇒ 74dB ▲ 11dB
 ホッパ付 ⇒ 77dB ▲ 8dB
 ■高静圧型ファン: ファン単体 ⇒ 83dB ▲ 2dB
 (新ファン(高圧)) ベルマウス付 ⇒ 73dB ▲ 12dB
 ホッパ付 ⇒ 78dB ▲ 7dB



(a) 新ファンでのベルマウス、ホッパ効果



(b) 新ファン(高圧)でのベルマウス、ホッパ効果



V.まとめ

1. 下記2タイプの省エネファン開発

低静圧型ファン(新ファン) : 省エネ(電力削減) ▲32% 騒音低減 ▲3dB
高静圧型ファン(新ファン(高圧)) : 省エネ ▲16% 騒音低減 ▲2dB

2. ベルマウス、ホッパ等の装備により、ファンの吸込み空気を整流することにより更なる省エネ及び騒音の低減が可能

吸込みベルマウス:省エネ ▲4~5% 騒音低減 ▲9~10dB
ホッパ :省エネ ▲2~4% 騒音低減 ▲ 5dB

3. 省エネファン2タイプの使分け、ベルマウス装備によって当初目標とした大型通風ファンの省エネ▲30%の目処はついた

4. といっても上記は陸上試験の結果に基づく試算なので、今後実船での性能確認試験・評価を実施予定

5. CFDの活用により試作機による試験ケースを大幅に削減し、省エネファン開発を効率良く短期間に行なうことができた

謝辞

本ファン開発にあたり共同開発者として種々ご協力いただきました
大洋電機株式会社

ご指導をいただきました

速水洋(九州大学名誉教授)

加藤洋治(東京大学名誉教授)

川村隆文(株式会社数値流体力学コンサルティング)

の皆様方に厚くお礼申し上げます。

ご静聴ありがとうございました