

翼端流れの改善と静圧回収による ヒートポンプ用薄型・高性能ファン

日本大学 理工学部 機械工学科
教授 鈴木 康方

2024年12月24日

背景—地球温暖化にかかわる規制

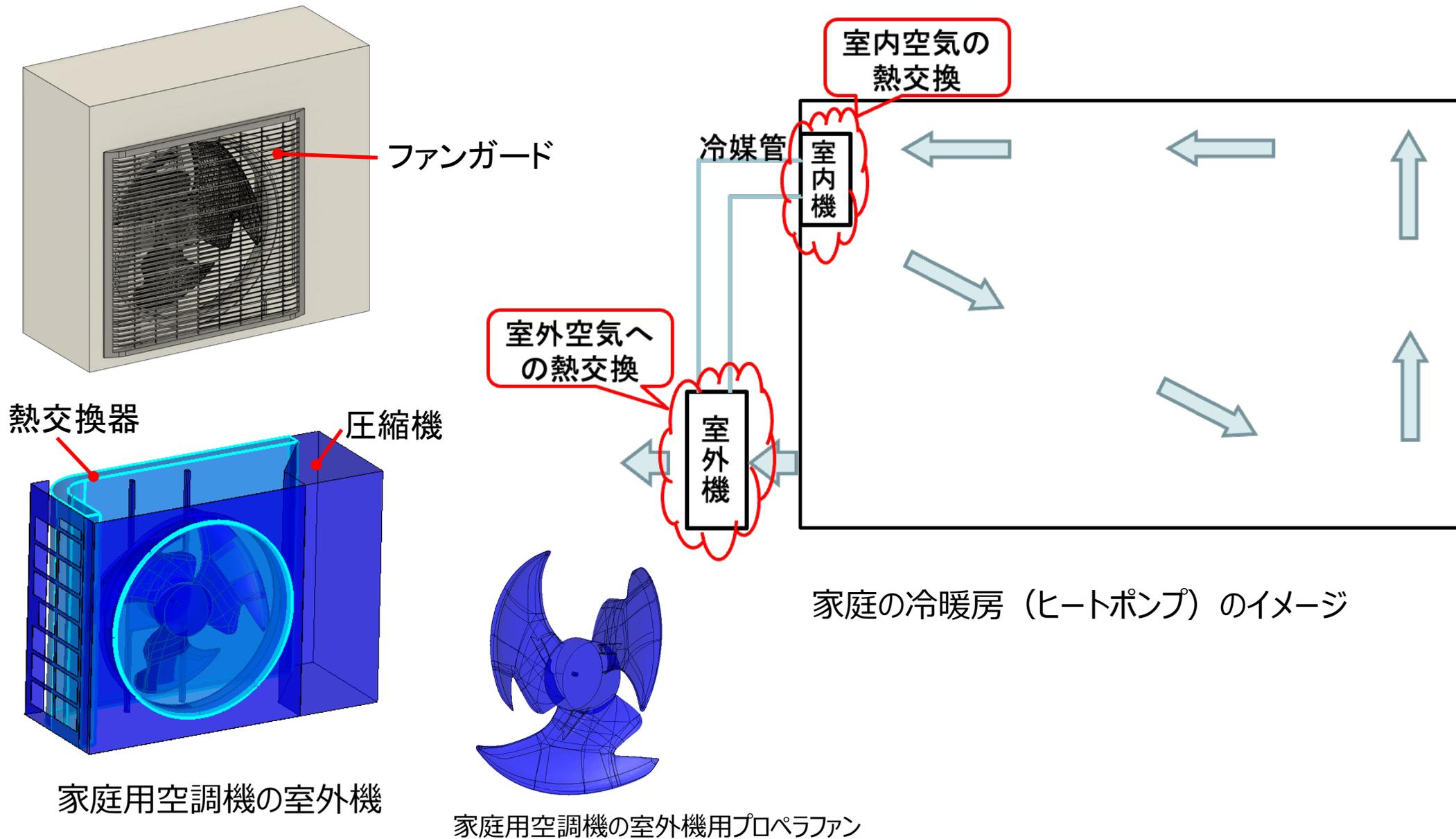
◆モン트리オール議定書での規制強化

- オゾン層を破壊するおそれのある物質の規制を目的としたモントリーール議定書は、2019年に発効したキガリ改正で強化が図られた。
- 代替フロンはオゾン層に害を及ぼさないものの、従来のフロンと地球温暖化係数（GWP）は同程度である。
- 改正により各国は今後30年間で代替フロンの使用を80%以上削減する義務がある。

◆空調業界の研究開発の現状

- 熱交換効率と安全性（低燃焼性、人体・環境への影響）、低い地球温暖化係数の全てを兼ね備えた冷媒に関する研究が非常に盛んである。
- しかしながら、冷媒のみならず熱交換器や圧縮機、ファンなどのあらゆる構成要素で効率向上と省エネ化に取り組まなければ達成は困難。

背景—空調用ヒートポンプ



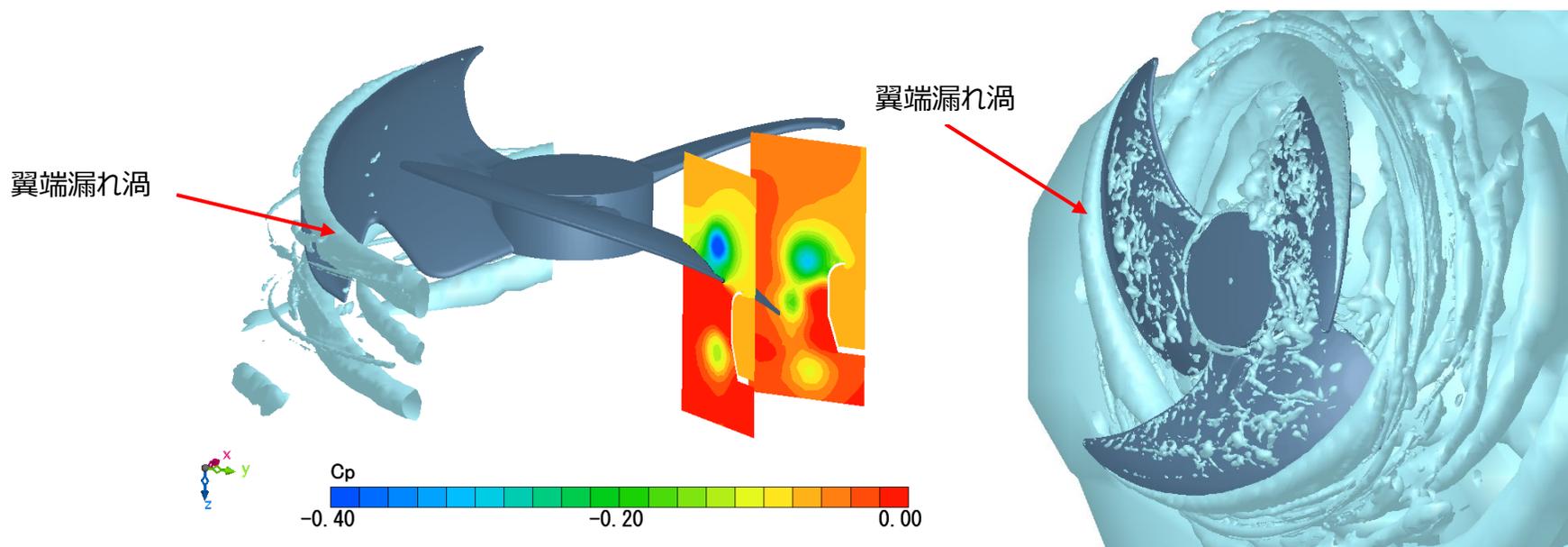
従来技術とその問題点

- 従来の空気熱源ヒートポンプや空調機
 - 伝熱面積と風量の増加が主たる省エネ技術となっており、大型化に伴うコスト増加と設置上の制約が課題。
 - ファン動力と騒音の増大も課題。
- 室外機に用いられる代表的なファン（プロペラファン）
 - 長年にわたる改良の積み重ねにより、性能は少しずつ向上したが、ピーク静圧効率¹は50%程度にとどまり、一般的な軸流送風機のピーク静圧効率（70%から85%程度）と比較して非常に低い。
 - 羽根車外周部の翼弦が長く、筐体内での実装自由度が小さい。翼端からの漏れ流れや流れの3次元性の影響がある。
 - ファンガードの存在が大風量化を妨げている。ファンガードによる摩擦損失は全体の圧力損失の20~30%を占める。
 - 低温条件で熱交換器に霜が成長すると風量が急激に低下する課題がある。
- ファンの設計最適化
 - 従来設計パラメータの探索によるファンの設計最適化が試みられているが、大幅な改善は難しい。

従来技術とその問題点

少枚数・前進・前傾翼の課題

- 1980年代の有圧換気扇の羽根形状を踏襲
- 翼端漏れ（ブロッケージ）が大きく、局所動圧が大
- 少羽根枚数化により、聴感補正効果の強化と、翼端渦と隣接翼との距離が離れる影響により低騒音化はしたものの、漏れ流れによる低効率と、軸方向高さが大きくなることで実装性に難ありとなることが課題



3枚羽根の従来ファン（従来技術）羽根まわり流れ構造の可視化結果

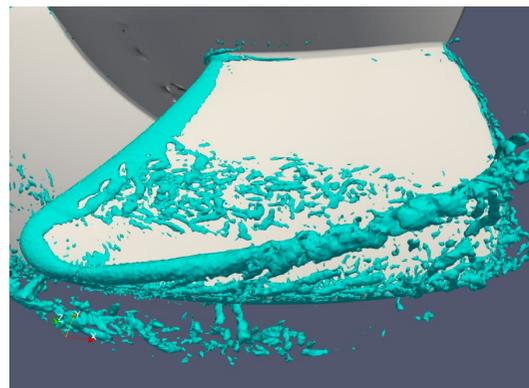
従来技術とその問題点

設計最適化における課題

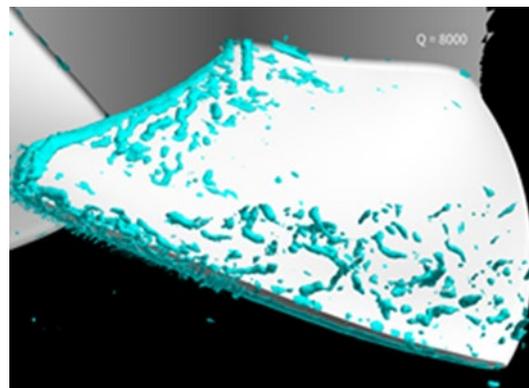
- 前縁はく離を抑制し，後縁負荷型となる，高静圧上昇・低騒音の翼を設計できたが，大幅な改善は難しい。
- 主に翼弦方向の反りに着目した分析がなされたが，設計パラメータの影響等のより詳細な分析が必要。

CFDを用いた設計最適化による形状の検証実験結果

手法	羽根車形状	圧力係数差[-]	音圧レベル差[dB(A)]
RANS	baseline	0.000	0.00
RANS	RANS高負荷	0.011	0.06
RANS	RANS低騒音	0.001	-1.37
LES	baseline	0.000	0.00
LES	LES高負荷	0.113	-0.06
LES	LES低騒音	0.062	-2.02



ベースラインファンの羽根まわり流れ構造

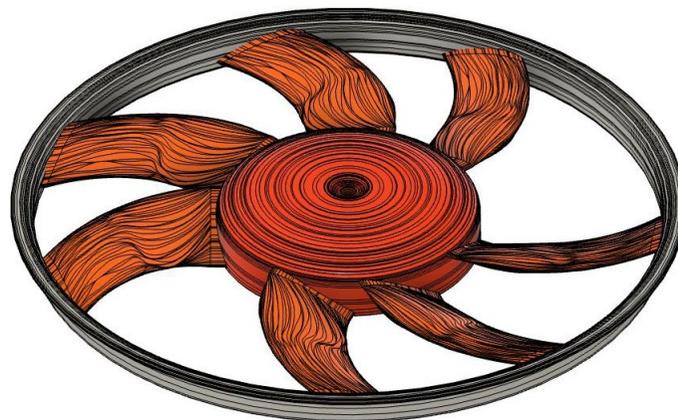
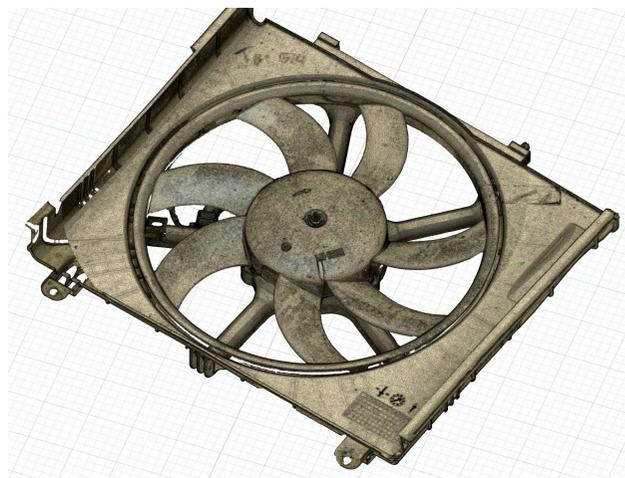


高負荷型ファンの羽根まわり流れ構造

- 設計変数29変数
- 20世代，各世代20個体以上

新技術の特徴・従来技術との比較

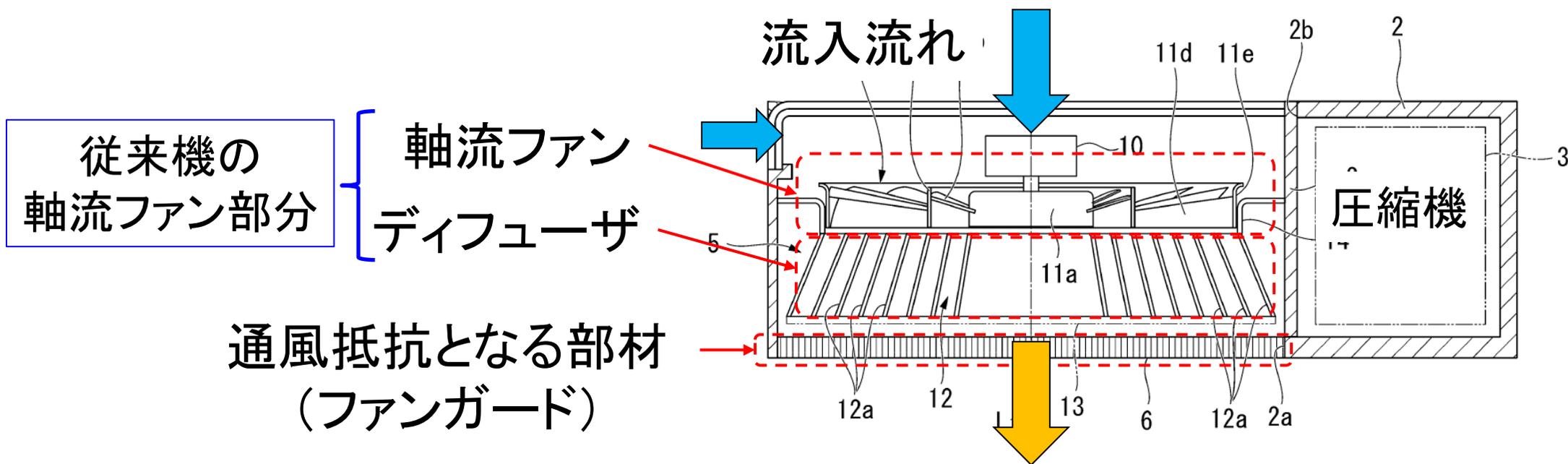
- 従来の設計パラメータの範囲を超えた設計により、同一回転数におけるファン風量の増加、風量を維持した場合は回転数の低下が可能
- 羽根車の多翼化、リングファンで翼端流れを改善しつつ、薄型化を実現
- 薄型化で空いた空間にディフューザを設置し、静圧を回収。



リングファンの3次元形状計測によるモデリングデータ（左：全体，右：羽根車）

新技術の特徴・従来技術との比較

(本発明のファン装置を備える室外機のイメージ)



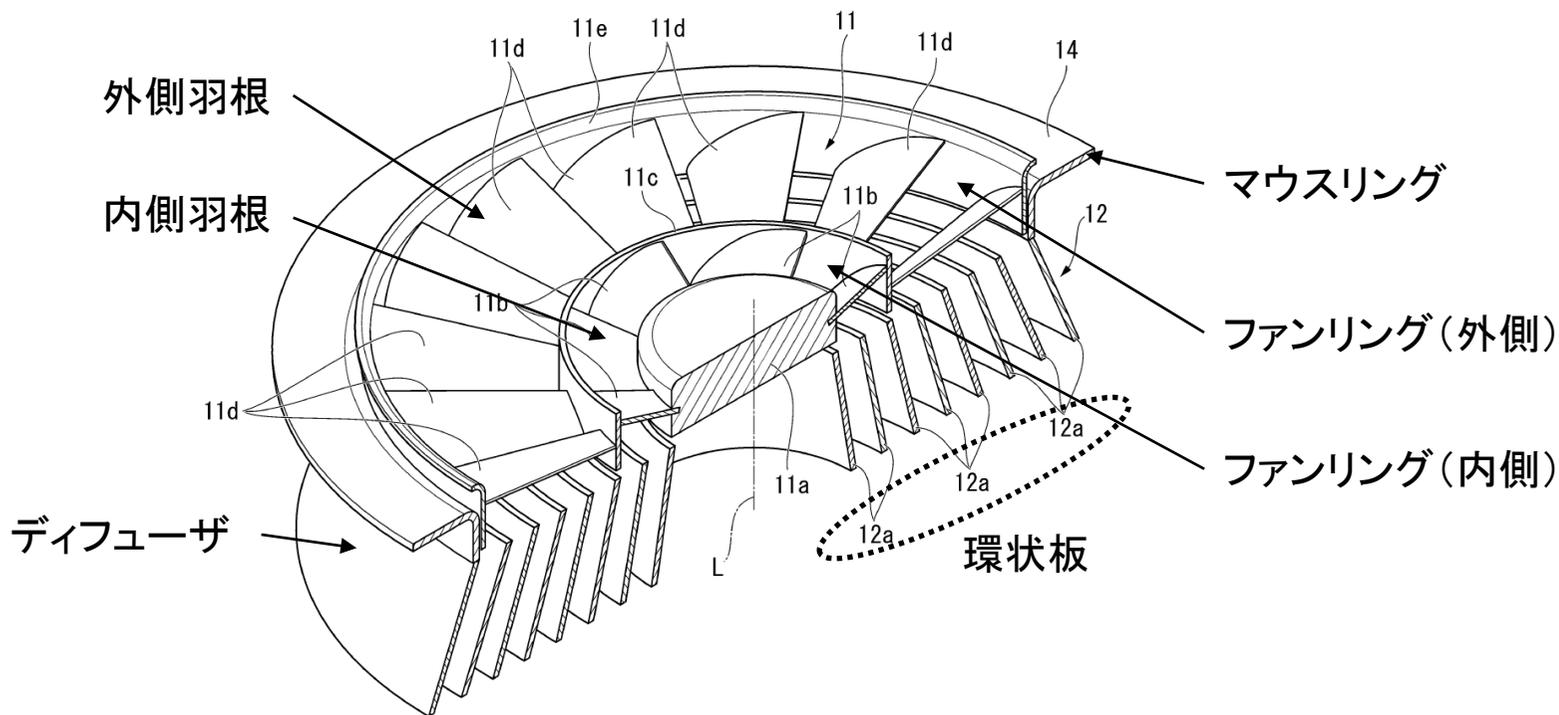
- ファンを薄型化することで、省スペース化もしくははそのスペースを活用してディフューザの設置が可能
- 流れの減速により、ファンガードを有しても通風抵抗を抑制可能。
- ディフューザにファンガードとしての機能の付与も可能。

※ディフューザ: 流れを減速させて運動エネルギーを圧力に変換する機械要素

※通風抵抗: 流速の2乗に比例して増大する

新技術の特徴・従来技術との比較

(軸流ファン, マウスリング, ディフューザの外観図)



◆主な特徴

【軸流ファン部】

- 多翼であり, 外側羽根と内側羽根を有する
- 翼端同士を接続するファンリングを有する

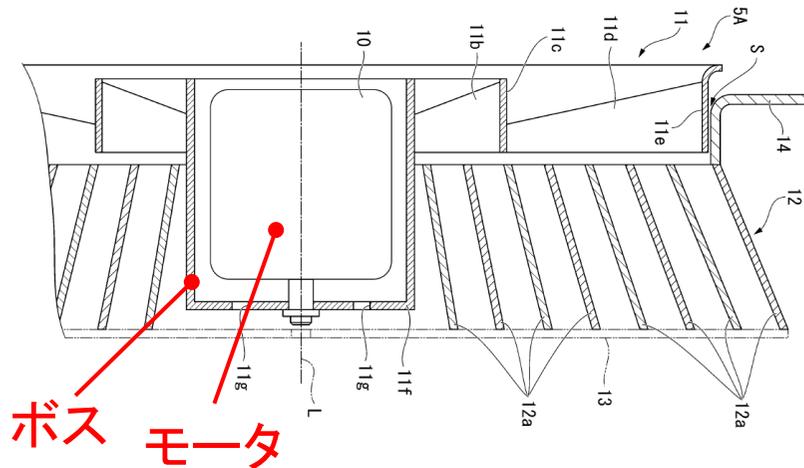
【マウスリング部】

- マウスリングとファンリングは軸方向に一部重なっている

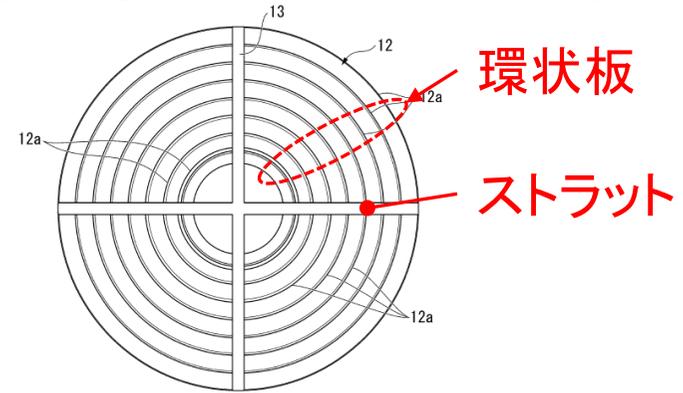
【ディフューザ部】

- ディフューザの厚み寸法はファンの厚み寸法より大きい
- 同心円状の環状板を有する
- 環状板の下流端形状(流路断面形状)は円形もしくは四角形

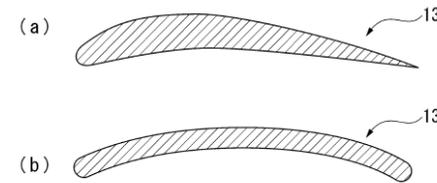
新技術の特徴・従来技術との比較



ファン装置の断面図



ディフューザの正面図(下流側より)



ストラットの断面形状

◆主な特徴

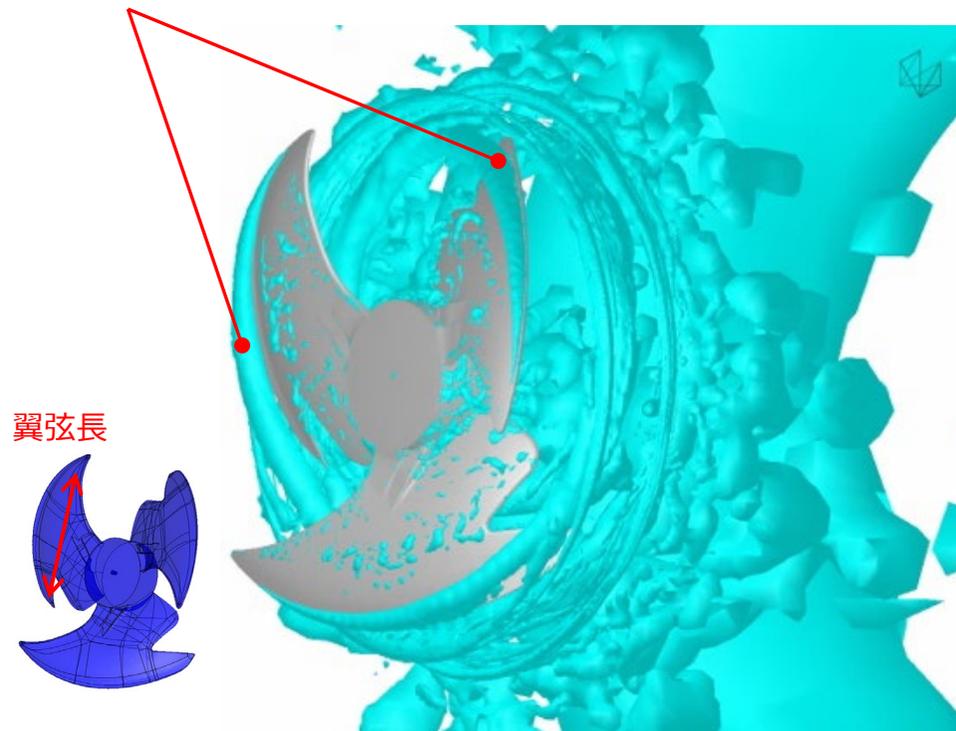
- ・モータを格納するために羽根車よりも下流側に突出するボスを有する → 薄型化
- ・環状板同士を接続する接続構造部材(ストラット)は翼形状である → 通風抵抗の抑制

新技術の特徴・従来技術との比較

(数値流体解析による羽根まわりの流れ構造の予測結果)

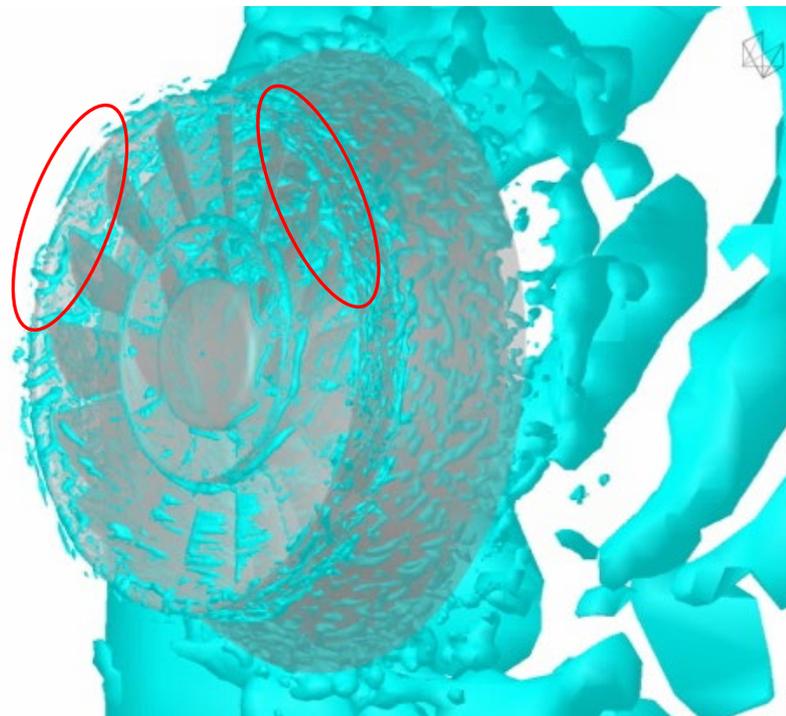
◆長い翼弦

翼端からの流れが発生



従来ファン (従来技術)

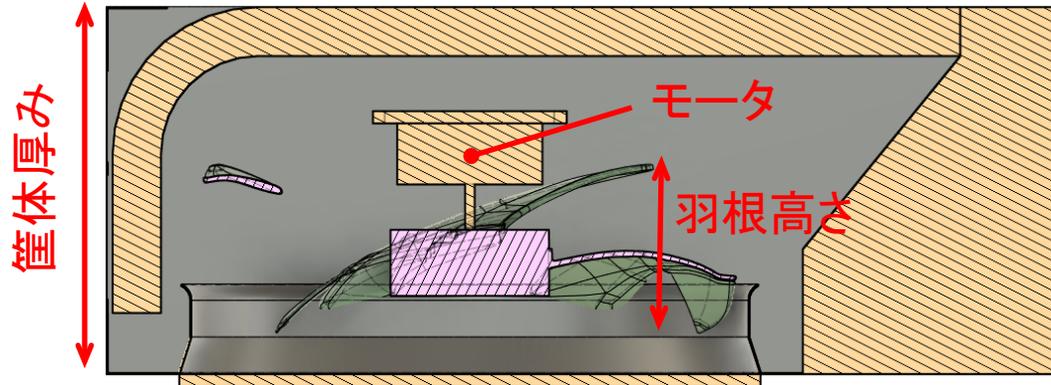
◆短い翼弦+翼数を増+ファン外周にリング+マウスリング
流れを抑制. マウスリング部からも空気を吸引. 翼端付近の流れが改善.



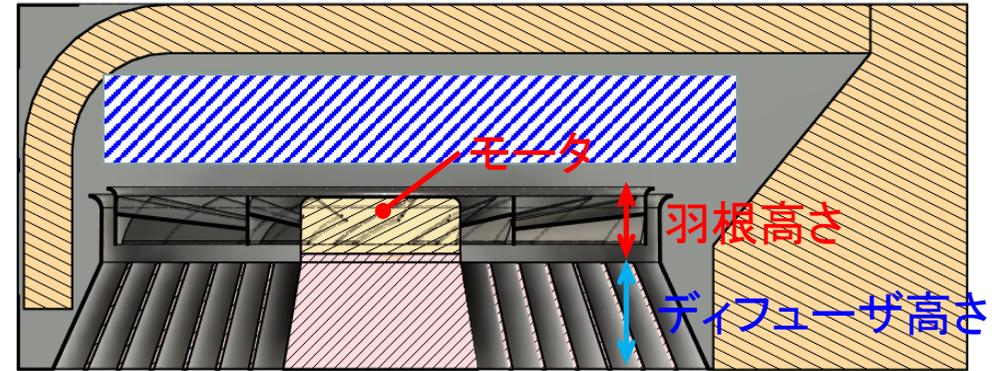
改良ファン (新技術)

新技術の特徴・従来技術との比較

(数値流体解析による羽根まわりの流れ構造の予測結果)

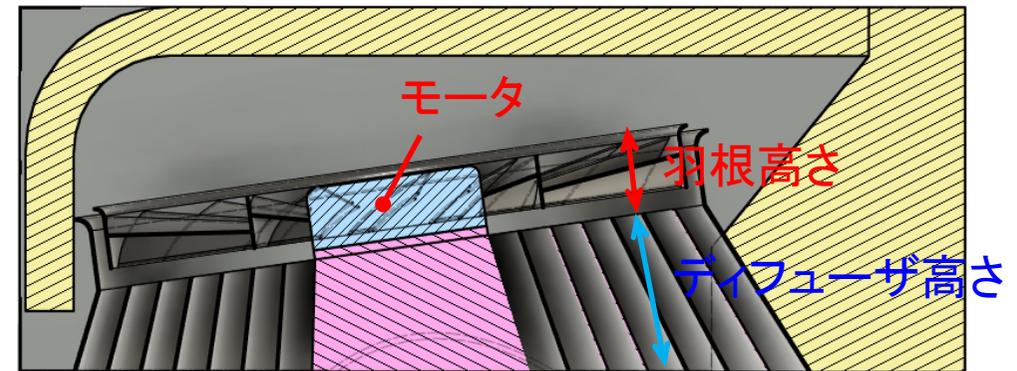


従来ファン+ 室外機 (従来技術)



改良ファン+ 室外機 (新技術, 羽根車直径同一)

◆大きい羽根高さ
翼弦が長く、高さが大きくなるため、薄型化が難しい

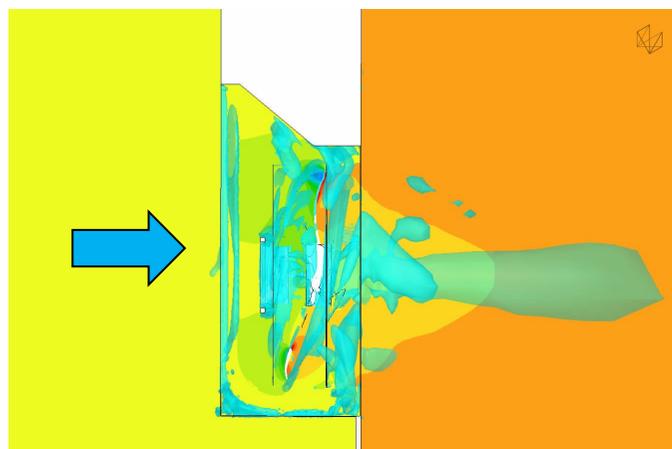
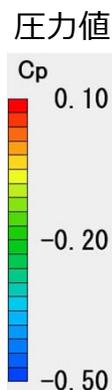


改良ファン+ 室外機 (新技術, 羽根車直径1.1倍)

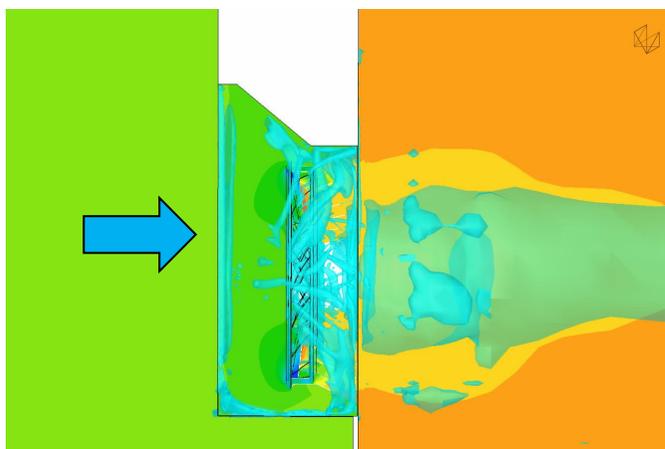
◆小さい羽根高さ
同一直径では斜線部で室外機薄型化の余地があり、直径1.1倍にするとファンの斜め配置も可能となり、さらなる性能向上に貢献。

新技術の特徴・従来技術との比較

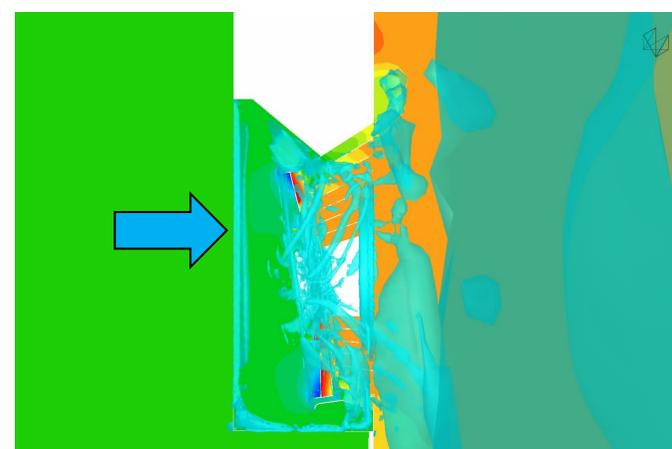
(数値流体解析による羽根まわりの流れ構造の予測結果)



従来ファン+ 室外機 (従来技術)



改良ファン+ 室外機
(新技術, 羽根車直径同一)



改良ファン+ 室外機
(新技術, 羽根車直径1.1倍)

◆ファンガード

ファンガードによる圧損が発生.

◆性能設計

性能設計に余裕がないため, 熱交換器に霜が成長すると風量が急激に低下

◆ファンガードを兼ねる切断円錐形状のディフューザ

ディフューザがファンガードを兼ねる.
ディフューザは運動エネルギーを圧力に変換. 静圧回収に貢献.
ディフューザによる減速とストラットの翼形状化により通風抵抗を抑制.

◆性能設計

高静圧型設計が可能になり, 熱交換器に霜が成長しても風量は低下しにくい

想定される用途

- 空気調和機の室外機及び室内機の高効率化, 高静圧化
- 狭小スペースにおける換気や冷却
 - アジア諸国のニーズに対応
- 高効率なヒートポンプの開発による熱需要の電化の促進

実用化に向けた課題

- 現在、スーパーコンピュータ富岳を用いた大規模流体解析による空力性能の高精度予測が可能であり、流体設計による形状の設計を進めている。また、別のプロジェクトで機械学習を用いた設計最適化についても取り組んでいる。
- 送風機負荷騒音試験装置を使用可能な環境にあり、数値解析の検証用データの取得が可能である。しかし、供試模型を精度良く製作するところが未解決である。
- 今後、形状最適化と検証用データの取得を進め、新技術の有効性を示してゆく。
- 実用化に際しては、流体力を基にした強度解析による構造設計と軽量化、低コスト化が必要であると考えられる。

企業への期待

- 設計最適化では、設計パラメータで表現できる形状についての最適化は可能であるが、さらなる性能向上のために、羽根車設計のノウハウを有する企業との共同研究を希望。
- 羽根車製造技術を有する企業との共同研究も希望。
- また、羽根車をOEMとして製造・販売・提供している企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 送風機の性能騒音計測，流体計測評価技術を有しており，検証用データの取得が可能である．また，これにかかわる技術指導も可能．
- 本技術は，スーパーコンピュータ「富岳」成果創出加速プログラム「AIの活用によるHPCの産業応用の飛躍的な拡大と次世代計算基盤の構築」の一部として開発を進めている．大規模解析が利用可能な環境にあり，高精度な流体解析技術と評価技術を有している．その他，市販の設計，解析ツールも利用可能である．また，これにかかわる技術指導も可能である．
- 他の用途でも用いられる軸流ファンの形状と性能をもとに設計パラメータ（形状）の範囲を大幅に拡大することを試みたファンであり，抜本的な製品の改良が見込める．

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ファン装置、空調用室外機
及び給湯ヒートポンプ用室外機
- 出願番号 : 特願2024-036046
- 出願人 : 学校法人日本大学
国立大学法人東京大学
- 発明者 : 鈴木康方、三木悠也
(日本大学)
鹿園直毅 (東京大学)

お問い合わせ先

日本大学産官学連携知財センター

T E L 03-5275-8139

F A X 03-5275-8328

E-mail nubic@nihon-u.ac.jp