

生物模倣応用による家電製品の価値創造

Creating High Value-added Home Appliance Products Using Biomimicry

大塚 雅生* 公文 ゆい*

Masaki Otsuka Yui Kumon

自然に学ぶネイチャーテクノロジー研究が注目を集めており、様々な産業分野において生物模倣学(Biomimicry)の応用が進みつつある。当社はこれに積極的に取り組み、既に16種類のネイチャーテクノロジーの実用化に成功、多数の家電商品に適用し、商品の価値向上や新たな価値創造を実現している。本報ではそれらのうち代表的なものを幾つか取り上げて解説する。

Biomimicry, or innovation inspired by nature, has seen its applications in various industries. Sharp Corporation has been active in this field and has successfully put 16 “nature” technologies to practical use in its home appliance products, creating and enhancing product values.

This article describes several examples of such applications.

1. はじめに

表1は、当社にて既に実用化・商品化したネイチャーテクノロジー応

用商品を一覧に纏めたものである。このように当社は「自然に学ぶ」という方法論を駆使し、様々な商品の価値向上や新たな価値創造に取り組んでいる。本報ではこれらのうち、アホ

ウドリ・イヌワシの翼を応用したエアコン室外機、トンボの翅を応用したエアコン室内機、イルカの尾びれ/表皮しわを応用した洗濯機、蝶の翅を応用した扇風機について解説を行う。

表1 当社が商品化したネイチャーテクノロジー応用商品

Table 1 List of products with "nature technology"

技術名			採用商品	採用部品	発売日	確認済の効果
生物模倣	鳥の翼の平面形応用 プロペラファン	アホウドリ イヌワシ	国内向けエアコン	室外機のファン	2008/11/15	消費電力▲20%、軽量化▲18%
			海外向けエアコン	室外機のファン	2009/2/1	電力▲30～40%、重量▲30～50%、 モータ重量▲45%、コスト▲600円
			ヘルシオ	冷却ファン	2011/8/25	静音 製品▲4dB、ファン単体▲8dB
		アホウドリ	3Dファン（サーキュレータ）	ファン外側部	2012/5/18	到達距離10m、収束性/拡散性両立
		アマツバメ	ヘアドライヤー	ファン	2012/9/20	静音 製品▲7dB、ファン単体▲3dB
	トンボ（ギンヤンマ）の 翅の断面形応用	クロスフロー ファン	エアコン室内機	室内機のファン	2010/12/10	消費電力▲30%、ピーク音▲7dB
			加湿空気清浄機	イオン発生部のファン 空気清浄部のファン	2011/11/10	21畳PCI 25000個/cm ³ 、静音▲4dB 吸塵スピード20%アップ、静音▲2dB
		シロッコ ファン	スリムイオンファン （イオン発生器+扇風機）	製品下部に内蔵のファン	2012/5/15	12畳PCI 40000個、騒音▲7dB 吹かれ感▲50%、到達距離200%
			ハイボジションリッピングファン （扇風機）		ファン外側のくびれ ファン内側のうねり	2012/5/18
		蝶（アサギマダラ）の翅応用 扇風機ファンブレード	3Dファン（サーキュレータ）		ファン内側のうねり	2012/5/18
	ネコ科動物の舌の表面構造応用 サイクロン ごみ圧縮ブレード	サイクロン掃除機		サイクロンカップ内 ごみ圧縮ブレード	2011/10/20	製品としてごみ圧縮率1/15化 約40日間ごみ捨て不要、パワー持続
	イルカの尾びれ・表皮しわ 応用 バルセータ	縦型洗濯乾燥機		バルセータ	2011/9/15	洗浄力115%、洗浄ムラ▲30%、 節水2ℓ
	ペンギンの翼・円環状魚群応用 炊飯器攪拌ブレード	ヘルシオ炊飯器		攪拌ブレード	2012/10/1	手洗米比、米へのダメージ▲50%、 栄養素20%、うま味成分30%アップ
	菌クジラ類（イルカ・シャチ・マッコウクジラなど）の エコーロケーション（反響定位）応用	ロボット掃除機 COCOROBO		障害物回避システム	2012/6/7	赤外線では検知できない透明ガラスや 黒い家具なども検知して回避可能
	ひまわりの種の配列（フィボナッチ）応用 洗浄促進突起技術	ドラム式洗濯乾燥機		前扉ガラス	2012/11/1	洗浄力110%、洗浄ムラ▲50%、 洗濯時間▲25%
	蛾の目（モスアイ）の凹凸構造を応用した 反射防止膜技術	液晶テレビ AQUOS		液晶パネル表面に 貼ったシート	2012/11/30	反射率0.1%以下 テレビコントラスト1000万：1
自然模倣	台風の渦流からヒントを得た 渦流送風・放熱技術	放熱用	高天井吊下げ灯	放熱用渦流ファン	2011/12/末	寿命150%化、軽量化▲70%、 消費電力▲10%、コスト▲1800円
		イオン散布用	PCI付シーリングライト	送風用渦流ファン	2012/12/14	14畳PCI 7000個/cm ³
			PCI付ダイニングライト		2013/4/19	6畳PCI 7000個/cm ³
	河川の流れからヒントを得た チョーキング熱交換技術	海外向けエアコン		室外熱交換システム （熱交換器・ファン配置）	2012/2/1	熱交換器面積▲40%、 放熱量30%アップ、コスト▲500円
	太陽と人類の関係性からヒントを得た 夕焼け光照明技術	さくら色LED照明 シーリング・ダイニングライト		光による生体への 効果の実証	2012/3/16	癒し&快眠サポート効果、 癒し快適エビデンス応援マーク取得

2. エアコン室外機に鳥を応用

2.1 用いた鳥の翼の特徴と効果

エアコン室外機プロペラファン(図1)に「鳥の翼」を応用し、大幅省エネ化・省資源化を実現した。以下1)～3)に、用いた鳥の翼の特徴とその応用効果について示す。

(1) アホウドリの翼平面形を応用

全ての鳥の中で最も滑空力が高く、数万キロも飛び続けることができる長距離飛行に適した高効率翼を持つ。その秘密は滑空中に誘導抵抗を抑制する細く鋭い(アスペクト比の大きい)翼平面形状(図2a)にある¹⁾。これをエアコン室外機プロペラファンの翼前縁先端部から円周部にかけて採用し、随伴渦低減による高効率化・軽量化を実現した。

(2) イヌワシの翼平面形を応用

陸上の極めて強い乱気流の中で安定した飛翔を行うことが可能。その秘密は先端が分かれた翼平面形状(初列風切羽, 図2b)にて風を巧みにコントロールすることにある¹⁾。これをエアコン室外機プロペラファンの翼後縁部に採用し、偏流による効率低下を抑制、および馬蹄渦乱れの抑制により低騒音化を実現した。

(3) 小翼羽により剥離を防止

殆どの鳥の翼にある親指のなごり(図2c)。その秘密は小翼羽にて渦を発生させて離着陸の際の翼面剥離を抑えることにある。これをエアコン室外機プロペラファンの翼前縁根元部近傍に採用することにより、従来は低周速のため剥離領域となるファン中心部を翼として働かせることが可能。その結果、ファン中心部の逆流領域を閉塞するためのボス部を廃止することができ、大幅な軽量化と、若干のP-Q特性の向上を実現した。

2.2 製品の性能革新

上記により、従来ファンに対し、

同風量時消費電力20～30%低減、重量20～50%低減、騒音1.5～2dB低減をそれぞれ同時に実現し、当社国内向け機種AU-Y50SX他、当社アセアン地域向け機種A3AUA24KEV他、北欧向け機種A3AEZ40KR他に搭載した。得られた省資源化の効果を表2および図3aに示す。またファン消費電力とファン重量の同時低減により、ファンの回転に必要なトルク、即ちモータ負荷の大幅軽減に成功した。これによりモータ巻線の積

厚を小さくでき、大幅な省資源化(A3AUA24KEVにおいて従来使用の3.8kgのモータを2.1kg品に置換成功、重量▲45%)を実現(図3b)。

なお、本技術は特に偏流の強い場所での使用に適することを確認している。例えば、電装部品の冷却用ファンとして当社過熱水蒸気調理機ヘルシオAX-PX2他に搭載し、ファン騒音8dB低減、消費電力40%低減を確認している。

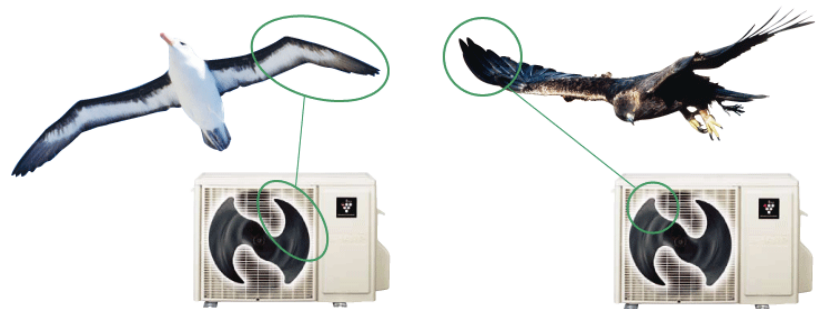


図1 用いた「鳥の翼」の形状要素

Fig. 1 Features of bird wing shape applied to the fan

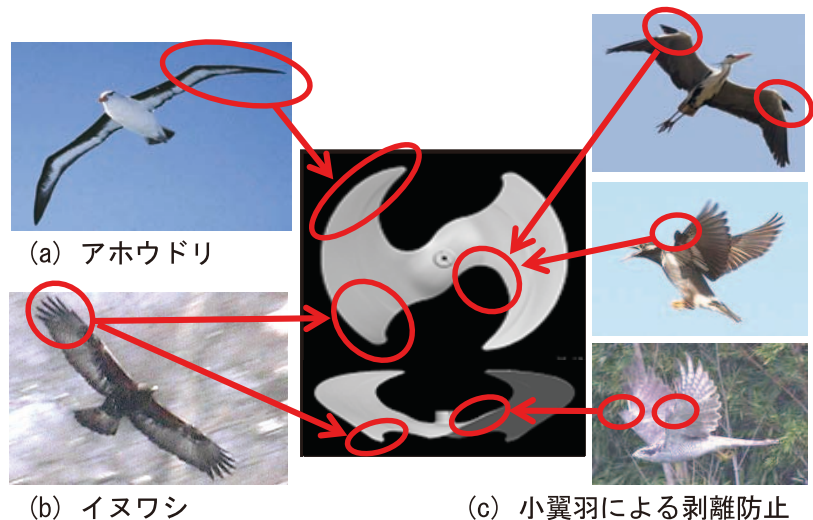


図2 用いた「鳥の翼」の形状要素

Fig. 2 Features of bird wing shape applied to the fan

表2 新開発「鳥」ファンの省資源化の効果①

Table 2 Effect of saving material by developed fan (1)

採用機種	直径	従来	新開発
a) アセアン向け大型機種	φ 460	966 g	680 g (▲30%)
b) 国内向け大型機種	φ 460	600 g	495 g (▲18%)
c) 国内向け中型機種	φ 420	450 g	390 g (▲13%)
d) 国内向け小型機種	φ 370	400 g	290 g (▲28%)
e) 北欧向け機種	φ 400	700 g	350 g (▲50%)



図3 新開発「鳥」ファンの省資源化の効果② (左が従来, 右が新開発)
Fig. 3 Effect of saving material by developed fan (2)

2.3 性能革新のメカニズム

以下に、「鳥の翼の平面形」応用によるファン性能革新のメカニズムについて説明する。ファンの翼は、翼の正圧面側から負圧面側に向かう渦（馬蹄渦）が生ずる。従来ファンの場合、図4a上に示すように、翼が太いため発生する渦も太くなる。この太い渦が螺旋を巻きながら後方に放出される（随伴渦）が、翼が太いため渦は強くて太くなり、悪影響が広範囲に及ぶだけでなく、この渦はファンに対し大きな負荷となる。これに対しアホウドリを模倣し翼を細く形成した新開発ファンの場合、図4a下

に示すように、翼が細いため発生する渦も細い。この細い渦が螺旋を巻きながら後方に放出されるが、翼が細いため渦は弱くて細く、ファンに対する負荷も小さくなる。これにより、主に大幅な省エネ効果が得られる。

また従来の場合、図4b左に示すように、翼後縁部が流線に対して垂直な方向に幅広形状になっている。このため、前述の馬蹄渦は渦の直径が大きく、また発生箇所も安定しない。この、不安定で規模の大きい馬蹄渦が次の翼に衝突して騒音が発生する。これに対し新開発ファンはイヌワシの翼の初列風切羽を模倣した

形状要素を翼後縁部に採用している。なお、イヌワシは複数の初列風切羽を有するが、製品の場合、翼後縁部を複数に分割すると強度が弱くなるため、同様の効果を有する1つの形状要素に置き換えている。図4b右に示すように、翼後縁の先端部に馬蹄渦が収束するため、渦の直径が小さく、また発生箇所も安定する。さらに、室外機内部は強い偏流が生ずるため、偏流に比較的弱いプロペラファンにとっては過酷な条件であり騒音発生の一因となるが、この形状要素が、あたかも指が地面をつかむように風をつかむので、翼を通過する流れが安定し、偏流による効率低下と騒音発生を抑制することができる。これにより、主に大幅な静音効果が得られる。

さらに従来の場合、図4c左に示すように、ボス部近傍の翼面に剥離領域が生じ、性能が損なわれ、強い乱流が生じて騒音が発生する。またこのため回転軸近傍は風を送りだす力が弱く逆流しやすい。その逆流経路を塞ぐためボス部が必要であった。このボス部のファン全体に占める重量割合は非常に大きい。これを廃止できれば軽量省資源化が可能になるが、従来はボス部で逆流経路を塞いでいるため、何も対策せずに単にボス部を廃止すると逆流しエアコンの性能に悪影響を及ぼす。これに対し新開発ファンは、図4c右に示すように、翼根元部に形成した小翼羽模倣形状から強制渦を発生させ、回転軸近傍の翼面に運動エネルギーを注ぎ込み剥離を抑え込む。これにより小翼羽模倣形状よりも内側を通過する風をより内側に押さえつけ、回転軸近傍の翼面を「翼」として有効活用させることができ、これらにより回転軸近傍の逆流を抑制でき、従来は逆流経路を塞いでいたボス部が必要なくなるため、ボス部を廃止することができる。これにより、主に大幅な軽量省資源効果が得られる。

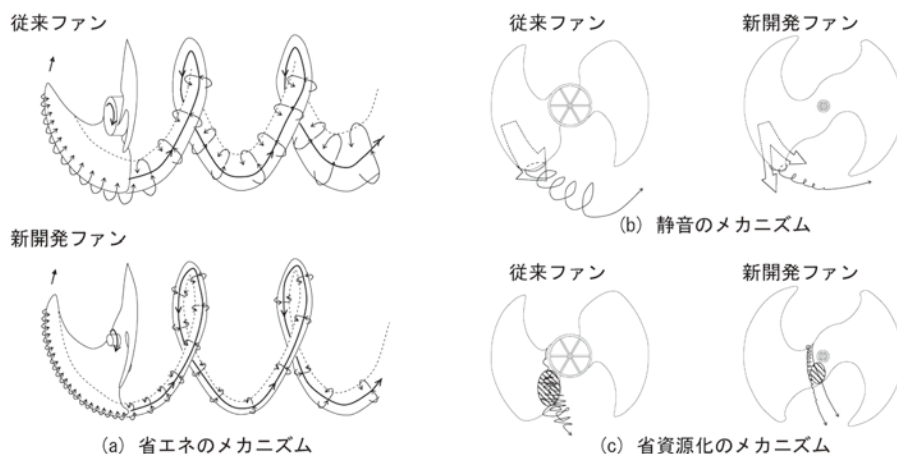


図4 新開発「鳥」ファンの性能革新のメカニズム
Fig. 4 Flow pattern diagram by ordinary and newly developed fan

3. エアコン室内機にトンボを応用

3.1 用いたトンボの翅の特徴と効果

エアコン室内機クロスフローファン（図5右、図6上）に「トンボの翅」（図5左）を応用し、大幅省エネ化・低騒音化を実現した。以下（1）～（3）に、用いたトンボの翅の特徴とその応用効果について示す。

（1）トンボの翅の断面形を応用

トンボの翅の断面（図7a）はギザギザ形状であり、これに渦が生じてボールベアリングの機能を果たし空気と翼の摩擦抵抗を軽減して揚抗比を高めていること²⁾、また極薄に形成された翼の強度を大幅に高めていることが知られている。但しこれをエアコン室内機に単に適用しただけでは静圧特性が低く熱交換器の圧力損失に打ち勝つことができない。

（2）用いるのが困難な航空機翼型

一方、航空機翼型（図7b）は揚抗比が高く、また圧力損失に強いことが知られているが、エアコン室内機ファンとして用いる場合は重量増大による効率低下が激しく、高揚抗比のメリットを相殺（二律背反）するため、採用が困難であった。それ故、古くから、エアコン室内機ファンは効率の悪い2重円弧翼（図6左下）が用いられ続けてきた。

（3）トンボの翅の断面形を航空機翼型に融合した新概念の翼断面形状（図7c）により二律背反を打破

そこで、トンボ翼断面と航空機翼断面を融合することにより、圧力損失に強く、軽量かつ強度も高く、また翼面に渦を生じて摩擦抵抗を軽減させ高い揚抗比を達成する新概念翼断面形状の実現に成功、両者の利点を最大限に引出すことで、これまで長く苦しみ続けてきた二律背反を打破し、次に示す効果を実現した。



図5 トンボの翅の断面形とその周り流れ

Fig. 5 Flow pattern around the dragonfly's wing

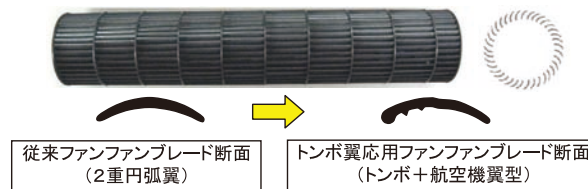


図6 新開発「トンボ」ファンの断面形状

Fig. 6 Cross section of fan blade with the shape of a dragonfly wing

3.2 製品の性能革新

上記が採用された当社国内向け機種AY-A50SX他のファンは、当社従来機種AY-Z50SX他のファンに対し、同風量時消費電力30%低減、重量10%低減、騒音3～5dB低減、ピーク音7dBカットをそれぞれ同時に実現した。図6に外観とファンブレードの断面形状を示した。なお本技術は、当社アセアン地域向け機種AH-AP18MMV他にも搭載されている。

3.3 性能革新のメカニズム

以下に、「トンボの翅の断面形」応用によるファン性能革新のメカニズムについて説明する。従来ファンの場合、翼の正圧面側において翼面と風の接触面積が大きく、そのため摩擦抵抗が大きい。これに対し、新開発ファンの場合、前述の通り渦がベアリングの役割を果たすこと、また翼面と風の接触面積が小さいことから、風の摩擦抵抗が小さく、このため高効率となる。また、ベースの航空機翼型から肉を削り取って大幅軽量化していること、またギザギザ形状のため強度がアップしていることから、軽量化が可能となる。一方、

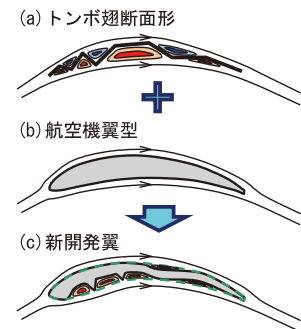


図7 新開発翼型の技術思想

Fig. 7 Conceptual image of developed blade

ファンは大径化により高効率化・低騒音化できることが知られているが、従来ファンの場合、2重円弧翼は揚力が前向きに働かず圧力に弱いこと、翼の負圧面側下流域で圧力に負けて剥離や乱流が生ずること、また、ファンを大径化すると同風量に対して吹出口面積が大となり風の圧力が低下することから、圧力に負けて逆流が生じてしまうため、これ以上の大径化は困難であった。

これに対し、新開発ファンの場合、翼型は揚力が前向きに働くため、圧力に強いこと、また翼の負圧面側下流域でも圧力に負けずにスムーズに流れることから、ファンを大径化すると同風量に対して吹出口の面積が

大となり風の圧力が低下するが、翼型の前向き揚力のおかげで圧力に負けないため逆流などのデメリットが生じにくい。これにより直径アップ(110%化)が可能となり、ファンを低回転にできるため大幅な高効率化・低騒音化の効果が得られる。

4. 縦型洗濯機にイルカを応用

4.1 用いたイルカの尾びれ・表皮しわの特徴と効果

イルカは瞬間的には時速50km以上の速さで泳ぐことができるが、これに必要な筋肉量の1/7しか持っていないことが知られている(J.Gray,1936)。これを受け多くの研究がなされるも、未だにこの謎は完全には解明されておらず、発見者にちなんで「 그레이のパラドックス」と呼ばれている。近年、イルカの高速泳法について幾つかの発見がなされ話題となった。この新しい知見(下記(1)～(2))を業界に先駆けて実用化に成功、まずは縦型洗濯機パルセータにて具現化し、イルカの尾びれの模倣により水流を大幅強化するとともに、イルカの表皮しわの模倣により水の摩擦抵抗を低減し、水流強化で増大するモータ負荷を相殺することに成功、消費電力を増加することなく水流を強化し、大幅な洗浄力強化、洗浄ムラ(ばらつき)低減の効果をえた。

(1) イルカの尾びれを応用

イルカの尾びれ(図8b)は三日月翼であり、高速遊泳時に高効率の泳ぎが可能であることが知られている。これをパルセータの裏面に採用、2つの三日月翼をX状に配置するとともに、イルカの高速遊泳時速度と尾びれの大きさから算出されるレイノルズ数に合致させたパルセータの駆動周速とX状三日月翼の大きさを設定することで、強力で高効率な水流を生み出し、大幅な洗浄力向上を実現した。

(2) イルカの表皮しわを応用

高速遊泳時、イルカの腹部に流れに垂直方向に複数のしわ(図8a)が生ずること、またこのしわの波長:振幅=30:1～100:1であることが観測³⁾されており、これが水の摩擦抵抗低減に効果があると推測され、学術の場において分析が進められている。これを縦型洗濯機パルセータの表(おもて)面に採用し、水の摩擦抵抗を低減、モータ負荷の軽減を実現。あわせて洗濯物の布傷みの軽減も実現した。

4.2 製品の性能革新

イルカに関する上記2つの知見をタテ型洗濯機パルセータに応用することで、従来技術に対し、同一条件時洗浄力15%アップ、洗浄ムラ(ばらつき)30%低減を実現した。これを省エネ省資源に特化して制御チャートを見直し、洗浄時間短縮による消費電力量18%低減、水量15%低減、洗剤量50%低減をそれぞれ同時に実現した。当社はこの革新的要素技術を2011年秋モデルのタテ型洗濯乾燥機ES-TX910他(図8c)に搭載し商品化した。

5. 扇風機に蝶を応用

5.1 用いた蝶の翅の特徴と効果

日本で唯一「渡り」をする蝶、アサギマダラは、あまり細かく羽ばたかずひらひらと滑空で飛翔すること、海を渡って2000キロにおよぶ旅をすることが知られているが、この飛翔能力のメカニズムが未解明である。また先般、蝶の飛翔はトンボより高効率という学説が発表され、アサギマダラ他、蝶の翅の周り流れの研究が急ピッチで進んでいる。この研究成果からヒントを得、アサギマダラの翅形状を扇風機ファンブレードに応用し、これまで不可能であった以下2つの技術的困難の打破に成功、扇風機に新たな可能性を見出した。

(1) 効率と快適性の間のトレードオフ解消

扇風機ファンの特性として、効率と快適性の間にトレードオフがある。即ち羽根枚数が少ないと高効率であるがファン下流側の圧力変動幅が大きくなり雑で不快な風となる。逆に羽根枚数が多いとファン下流側

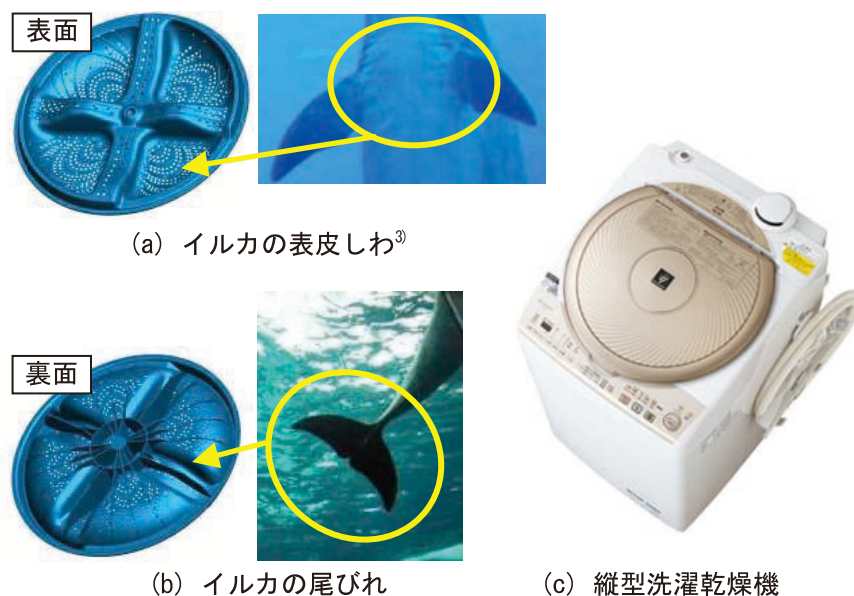


図8 新開発「イルカ」パルセータの表裏形状と縦型洗濯機

Fig. 8 New pulsator with the shape of dolphin's features and washing machine

の圧力変動幅は小となり優しく快適な風となるが効率は低くなる。そこで、図9に示すようにアサギマダラの翅の「真ん中くびれ」形状を採用してファンブレード外周部後縁近傍を分断しくびれさせることで、1枚のブレードが2枚分の圧力変動を生み出してファン下流側の圧力変動幅の半減に成功、但し実際には1枚のため効率は悪化しない。これにより桁違いの快適性と業界最高の省エネ性を同時に実現した。

(2) 拡散性・直進性(収束性)に関するニーズと物理現象の間のジレンマ解消

扇風機のニーズとして、①弱には家族皆に優しい風を送る高い拡散性、②強には風呂上がりに自分だけに風を送る強い収束性、またはサーキュレータとして部屋端まで風を届ける高い直進性が望まれるが、これらは遠心力のため両立し得ない。ところが、アサギマダラの翅を模倣した「くびれ」形状は驚きの効果を生む。即ち翼端から発生する馬蹄渦の剥離位置をくびれ部にて回転数制御できる。これによりファンなどの回転体では物理現象上の理由から実現

が困難であった「弱運転時には拡散性が高く、強運転時には直進性および収束性が高い」という拡散性と直進性の両立(切替え可能)に成功、扇風機としてもサーキュレータとしても高い性能発揮を実現した。

5.2 製品の性能革新

アサギマダラ蝶の翅形状をファンブレードに採用した当社2012年モデルのDCモータ搭載扇風機PJ-B3CXH他(図10)は、業界No.1の快適性と省エネ性を同時に実現、当社従来機PJ-A3CLLのファンに対し同一回転数風量116%化、半径方向風速分布の傾き1/159、風速ムラ(偏流度指標)1/39、圧力変動▲65%カットという桁違いの技術革新に成功、DC扇ゾーンにて市場シェアNo.1を獲得した。

6. まとめ

以上、自然に学ぶという思想、特に生物の体の構造からヒントを得た研究開発は、モノづくりにおいて非常に有用であることを確認した。

但し、単なる生物の模倣だけで

は、必ずしも効果は得られない。生物の持つ特異な形状と、彼らの棲息する環境との適合、そしてそれを実現する物理現象や作用メカニズムに鑑み、同様の作用メカニズムを奏する形状を付与する必要がある。

生物模倣学の今後の益々の発展と、その実用範囲の拡大に期待するところ大である。

参考文献

- 1) A.Azuma, The biokinetics of flying and swimming. Second Edition, AIAA, Reston VA, 2006.
- 2) M.Okamoto, An experimental study on aerodynamic characteristics of the steady and unsteady airfoils in low Reynolds number flow, Nihon University, 2005.
- 3) H.Zhang, N.Yoshitake and Y.Hagiwara, Changes in drag acting on an angled wavy silicon-rubber plate as a model of the skin folds of a swimming dolphin, Bio-mechanisms of Animals in Swimming and Flying (ed. by N.Kato, S. Kamimura) (2007), Chapter 8, pp. 91-102, Springer, Tokyo.

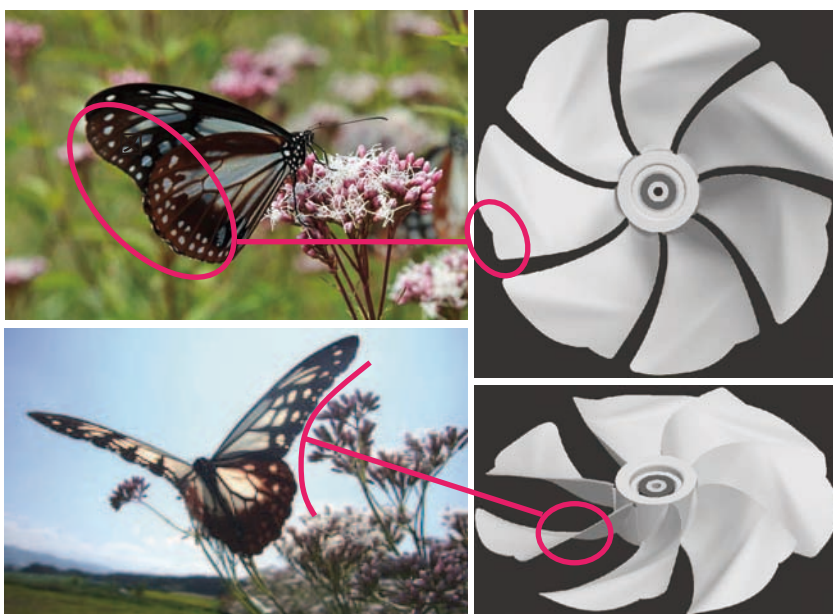


図9 新開発「アサギマダラ」ブレードの3次元形状
Fig. 9 New fan featuring Chestnut Tiger Butterfly wing



図10 DC扇風機
Fig. 10 DC Electric fans