

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 4 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560956

研究課題名(和文) Morphing Flapによる低騒音高揚力装置の研究

研究課題名(英文) A study on Morphing Flap for Low Noise High Lift Device of Aircraft Wings

研究代表者

谷 泰寛 (Tani, Yasuhiro)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80380575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：航空機の離着陸時の騒音低減のために、柔軟かつ連続的な形状変化を行うモーフィング技術を応用したMorphing Flapを開発した。低騒音風洞におけるマイクロホンアレイを用いた音源探査計測により、Morphing Flapによりフラップ端騒音をほぼ消滅させつつ、揚抗特性と騒音低減に効果的な形態を明らかにした。また、数値解析手法及び気流計測により騒音低減と流れ場変化の関係を明らかにするとともに、柔軟な素材と多リブ構造を利用した連続的舵角変形機構により、Morphing機構の実現性の見通しが得られた。

研究成果の概要(英文)：To reduce the aero-acoustic noise of the aircraft wings with high lift devices, morphing flap concept was developed. Morphing flap is a kind of slotted flap with variable flap deflection distribution in span wise connecting to the outer wing. Noise source survey measurements using a phased array microphone system were carried out in a low-noise wind tunnel on the wing model with morphing flap. Test result showed that the morphing flap eliminates the flap side edge noise and suppresses the overall noise level, keeping sufficient high lift characteristics. Flow field measurement results also showed that the vortex flow around the flap edge was weakened by the morphing flap, and clarified the relation between the flow field and noise suppression effect. Furthermore, continuous flap deflection mechanism with elastic material and multi-rib structure was developed for the application to the actual aircraft wings.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙工学 高揚力装置 低騒音化技術 Morphing

1. 研究開始当初の背景

航空科学技術分野において「環境適合性」は安全性と並んで最も研究開発を進めるべき課題である。航空輸送需要の増加と航空機の大型化に伴い、航空機の騒音と排出物を削減することは緊急の課題であり、特に、航空機の離着陸時における空港周辺への騒音低減は航空輸送の成立性にも関わるものであると言える。

航空機の騒音は「エンジン騒音」と「機体騒音」に分類されるが、近年、高バイパス比ターボファンエンジンや各種騒音低減デバイスの研究により、エンジン騒音はかなりのレベルで低減されてきている。そのため、機体騒音への低減が求められており、特に、着陸進入時では高揚力装置が大きな騒音源となっている。

これまで、高揚力装置の開発では高揚力性能に重点がおかれていたため、積極的な騒音対策は行われていない。フラップエッジノイズと呼ばれるフラップ端部で発生する翼端渦に起因する騒音が主要な騒音となっており、この低減のために、フラップ端部にデバイスを装着する方法などの研究がなされてきているが十分でなく、研究を進める必要がある。

2. 研究の目的

高揚力装置のうち、高い高揚力性能を得ることが可能なスロットドフラップで課題となっている、フラップエッジノイズを低減させつつ、高揚力特性を維持した高揚力装置を目指して、形状を連続的に変化させる **Morphing** 技術を応用した、**Morphing Flap** コンセプトについて提案し、その有効性を検証し、低騒音と高い空力特性を併せ持った高揚力装置に関する研究分野を発展させることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) **Morphing Flap** 形状と変形機構の考案：スロットドフラップにおけるフラップ端部の騒音低減を目的として、フラップ舵角をスパン方向に連続的に変化させ、フラップ端部を外翼部へ滑らかに接続する、**Morphing Flap** コンセプトを明確化する。このコンセプトに基づき、舵角変化分布のパターンを数種類設定し、**Morphing Flap** 形状を定義する。設定した形状をもとに、九州大学の低騒音風洞で実施する風洞試験用の模型を製作する。また、**Morphing Flap** の実現に不可欠である、滑らかなフラップ舵角変化を実現するための変形機構と材質の検討を行い、実機への適用性を検討する。

(2) 騒音計測：製作した模型を用いて、風洞実験においてフェイズドアレイマイクロホンを用いた音源探査計測を行い、騒音発生位置と周波数帯を明らかにする。さらに、音場計測用マイクを用いて翼全体としての音圧レベルの計測を行い、**Morphing Flap** による

騒音低減データを取得する。

(3) 空気力計測：**Morphing Flap** 各形態の揚力・抗力・ピッチングモーメントの3分力計測を行い、各 **Morphing Flap** 形態の空力特性データを取得し、高揚力性能と低騒音性能を両立する **Morphing Flap** 形態を明らかにする。

(4) **Morphing Flap** まわりの流体现象の解明：風洞試験による後流計測及び数値解析により、**Morphing Flap** が従来のスロットドフラップと比較してどのように気流に変化を与えているかを調べ、騒音低減効果との関連性について検討する。

4. 研究成果

(1) **Morphing Flap** 形状の設定

スロットドフラップの外翼端部を連続的に外翼部に接続する形状として、図1に示すコンセプトを考案した。フラップ端部での舵角をゼロにしつつ、表1に示す舵角設定のフラップ形状を設定した。フラップ端部の揚力をスパン方向に徐々に小さくするために、フラップ角および繰り出し量をスパン方向に徐々に小さくする形状とした。フラップ端から翼根部にかけては、高揚力性能を維持することを目的として大きなフラップ舵角を与え、舵角分布による特性の違いを明らかにする形状を設定した。なお、舵角設定位置間の領域では関数を与えて設定し、舵角が滑らかに変化するようにした。

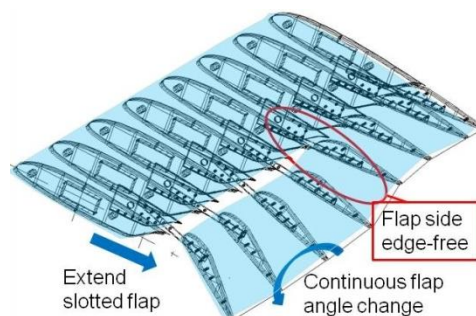


図1 **Morphing Flap** コンセプト

表1 **Morphing Flap** 舵角分布 (deg)

	$\delta_{f\_root}$	$\delta_{f\_20\%b}$	$\delta_{f\_35\%b}$	$\delta_{f\_edge}$
Type A	30	20	10	0
Type B	0	20	20	0
Type C	20	20	20	0
Type D	10	20	20	0

(2) 機構の検討

スパン方向に連続的な舵角変化を得るために、図2に示すように、フラップ部には細かい間隔でリブを設置するマルチリブ構造を採用し、桁には弾性素材である樹脂材を用いた。また、外板素材には、滑らかな表面形状を実現するために、柔軟性と耐振動

性を考慮して、比較的厚みを有する発砲ゴム素材を採用した。4か所のスパン位置で舵角設定を行う機構を設置することで、桁及び表面素材の弾性変形を利用して連続的な舵角変化を可能とした。従来のフラップと比較して、若干の機構の複雑性はあるものの、母翼は影響を与えないため、実機への適用性は十分にあると考えられる。図3に、モーフィング機構を組み込んだ模型の変形形態の一例を示す。なお、本機構では弾性素材を利用しているため、フラッタ特性については今後検討を進める必要があると考えられる。



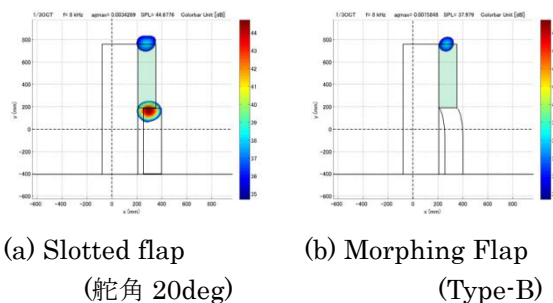
図2 マルチリブ構造



図3 Morphing Flap 形状の設定例

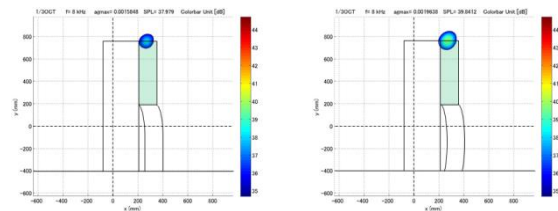
### (3) 音源探査結果

騒音特性を把握するために、フェーズドアレイマイクロホンを用いた音源探査計測を実施した。図4に迎角 14deg、解析周波数 8 kHz における、(a)従来のスロットドフラップ（舵角 20deg）と、Morphing Flap の (b)Type-B、(c)Type-C、(d)Type-D の音源探査結果の比較の例を示す。従来のスロットドフラップでは、フラップ端部に大きな騒音源が検出されているのに対して、Morphing Flap ではいずれの形態でもこれが消滅する結果が得られ、考案どおりの騒音低減効果が得られることが確認できた。



(a) Slotted flap  
(舵角 20deg)

(b) Morphing Flap  
(Type-B)



(c) Morphing Flap  
(Type-C)

(d) Morphing Flap  
(Type-D)

図4 音源探査結果比較

### (3) 空気力計測と音圧レベルの比較

図5に、迎角に対する揚力係数の比較を示す。舵角分布の設定によって、最大揚力係数に若干の差違はあるものの、十分な最大揚力係数を得る結果となった。また、図6にはドラッグポーラの比較を示すが、Morphing Flap であることで揚抗特性に遜色はみられない。ただし、Type-A では翼根部で過大な舵角としているため、抗力が大となっており、Morphing Flap の舵角分布の設定には十分な注意が必要であることが明らかとなった。

図7に、比較を行った各フラップ形態の揚力特性と音圧レベルの比較を示す。各形態とも、最大揚力係数までは迎角を増すにつれて  $C_L$  が増加し、それに伴って音圧レベルも増加するが、Type-B や Type-D の Morphing Flap 形態では、高い  $C_{Lmax}$  特性と低い騒音レベルが実現できていることが明らかとなった。

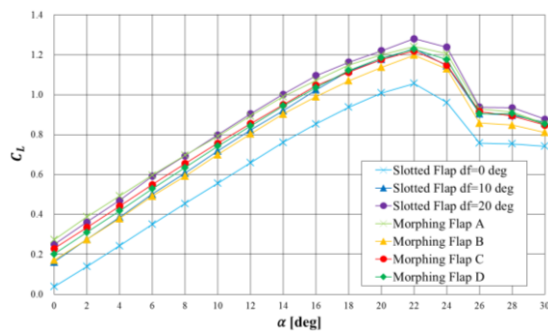


図5 揚力特性の比較

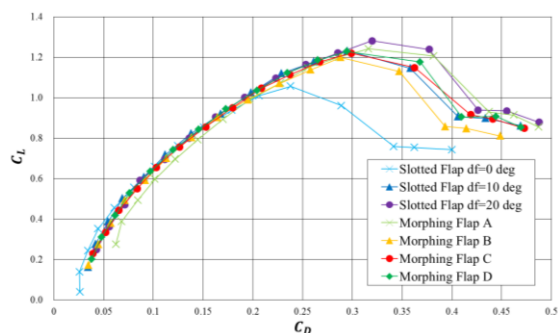


図6 揚抗特性・ドラッグポーラの比較

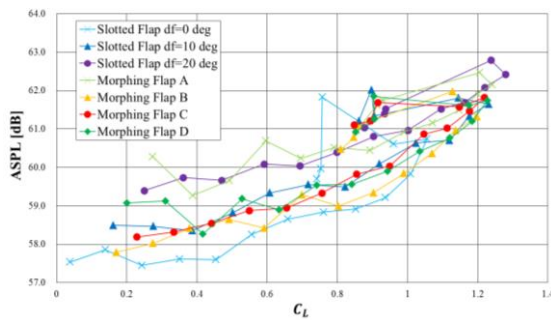
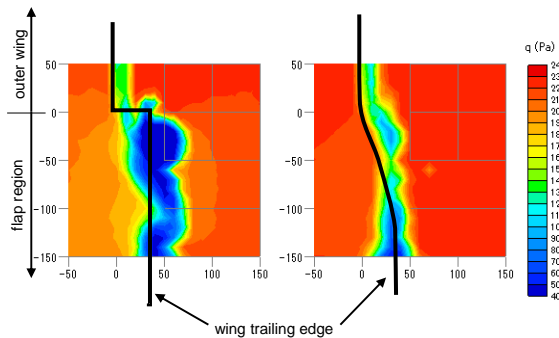


図7 音圧レベルと揚力特性の比較

(4) Morphing Flap による流れ場の変化

図8に、フラップ端部における流れ場の比較の例として、フラップ端部後流における全圧分布の比較を示す。本図において、(a)の従来のスロテッドフラップでは、フラップ端部に大きな全圧ロスを示す青い領域があり、強いフラップ翼端渦が発生していることが観察されるが、Morphing Flap ではこれがほぼ消滅している。これより、Morphing Flap では、フラップ端部の渦の影響を消滅させることができ、騒音低減を導いていることが明らかとなった。



(a) Slotted Flap (b) Morphing Flap

図8 後流計測結果：全圧分布

以上の結果により、本研究において考案された Morphing Flap は、従来のスロテッドフラップと比較して、フラップ端部における翼端渦を消滅させ、それに起因するフラップ端騒音を消滅させることができることが明らかとなった。また、フラップ端部において舵角が小さくなることによる最大揚力係数の低下は小さく、良好な空力特性と騒音特性を有することが明らかとなった。また、弾性素材とマルチリブ構造により、実機への適用実現性の高いモーフィング機構が得られ、将来の高揚力装置開発に向けて大きな成果が得られた。

また、これらの成果は世界的に権威のある AIAA 及び ICAS の国際学会、日本航空宇宙学会の学術講演会等で発表し、高く評価された。また、日本航空宇宙学会の第 46 期年会講演会においてオーガナイズドセッション招待講演を行い、高い評価を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

① 谷 泰寛、麻生 茂、浦 弘樹、伊藤 健、モーフィングフラップによる高揚力装置の空力騒音低減に関する研究、第 46 期日本航空宇宙学会年会講演会講演集、査読なし、CD-ROM、2015

② Yasuhiro Tani、Yuya Yamashita、Shigeru Aso、Hiroki Ura、Takeshi Ito、Aerodynamic Noise Reduction for High Lift Devices using Morphing Flap Concept、Proceedings of 29th International Congress of the Aeronautical Sciences、査読なし、2014

③ Yasuhiro Tani、Morphing Flap Concept to Reduce the Flap Side Edge Noise for Aircraft Wing Slotted Flaps、Proceedings of AIAA SciTech 2014、査読なし、2014

④ 宮崎和真、山下勇也、谷 泰寛、麻生 茂、浦 弘樹、伊藤 健、フェーズドアレイマイクロフォンを用いたモーフィングフラップの騒音特性に関する研究、日本航空宇宙学会西部支部講演会(2013)講演集、査読なし、CD-ROM、2014

⑤ Yasuhiro Tani、Yoshiyuki Matsuda、Akira Doi、Yuya Yamashita、Shigeru Aso、Takeshi Ito、Experimental Study of the Morphing Flap as a Low Noise High Lift Device for Aircraft Wing、Proceedings of 28th International Congress of the Aeronautical Sciences、査読なし、CD-ROM、2012

⑥ 谷 泰寛、Phased-array Microphone を用いた Morphing Flap の空力騒音の実験的研究、第 44 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2012 講演集、査読なし、CD-ROM、2012

〔学会発表〕(計6件)

① 谷 泰寛、モーフィングフラップによる高揚力装置の空力騒音低減に関する研究、第 46 期日本航空宇宙学会年会講演会、2015/1/16、東京大学山上会館(東京)

② Yasuhiro Tani、Aerodynamic Noise Reduction for High Lift Devices using Morphing Flap Concept、29th International Congress of the Aeronautical Sciences、2014/9/10、St. Petersburg(Russia)

③ Yasuhiro Tani、Morphing Flap Concept to Reduce the Flap Side Edge Noise for Aircraft Wing Slotted Flaps、AIAA SciTech 2014、2014/1/12、National Harbor(USA)

④ 谷 泰寛、フェーズドアレイマイクロフォンを用いたモーフィングフラップの騒音特性に関する研究、日本航空宇宙学会西部支部講演会(2013)、2013/10/11、九州大学西新プラザ(福岡県福岡市)

⑤ Yasuhiro Tani、Experimental Study of

the Morphing Flap as a Low Noise High Lift Device for Aircraft Wing、28th International Congress of the Aeronautical Sciences、2012/9/27、Brisbane(Australia)

⑥ 谷 泰寛、Phased-array Microphone を用いた Morphing Flap の空力騒音の実験的研究、第44回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2012、2012/7/6、富山国際会議場(富山県富山市)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://stl-www.aero.kyushu-u.ac.jp/research/morphingflap.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷 泰寛 (TANI, Yasuhiro)

九州大学大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80380575

### (2) 研究分担者

麻生 茂 (ASO, Shigeru)

九州大学大学院工学研究院・教授

研究者番号：40150495

### (3) 連携協力者

森下 和彦 (MORISHITA, Kazuhiko)