

Fly By Light Power : 低パワーによる飛躍的な高速空力性能の向上

Fly By Light Power: Improvement in High-Speed Aerodynamics with Low-Power Deposition

佐宗 章弘 (SASOH AKIHIRO)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

超音速流れに低パワーの高繰返しレーザー/放電パルスを付加し、圧縮性流れの性質を活用した新しい流体力学的機能（プリカーサー効果による抗力低減、非対称エネルギー付加による揚力増加、バロクリニック効果による渦生成がもたらす作用時間の増加など）を創成、その原理実証を行ない、飛躍的な空力性能の向上を実現、応用への展望を開く。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：超音速飛行、レーザー、空気力学、乱流、エネルギー付加

1. 研究開始当初の背景

超音速飛行は、揚抗比（揚力と抗力の比、以下 L/D ）の低さと騒音（ソニックブーム、衝撃波による騒音）という大きな問題を抱え、未だ陸地上空での商用飛行は実現していない。グローバル化が進み旅客や物流をより高速に輸送する潜在的な需要が増え続けているにも関わらずこれが実現していないのは、音の壁ならぬ「技術の壁」、すなわち抜本的な技術革新がなされていないためである。

2. 研究の目的

高揚力/抗力比の超音速飛行の原理確立のため、高繰返しパルスエネルギー付加による機体空力性能への影響を定量的に明らかにする。特に、プリカーサー効果の積極的利用、および非対称エネルギー付加による L/D の積極的な増加を狙う。また、近傍・中間場へのエネルギー付加による能動的ソニックブーム軽減の可能性を、バリスティックレンジを用いたモデル実験等で実証、定量評価する。このために、格子乱流と衝撃波の干渉に関する基礎データを取得する。

3. 研究の方法

流体機能の創成に関わる5つの研究課題(1)プリカーサー効果および非対称エネルギー付加による圧力変動効果を利用した L/D の増加、(2)境界層への運動量作用/エネルギー作用による剥離抑制・抗力の低下、(3)バロクリニック効果を利用した低密度領域滞留

時間・作用力積量の増加、(4)レーザーパルスが誘起する密度/速度乱れ場による衝撃波減衰、(5)エネルギー付加形態最適化について、(1)衝撃波管、(2)超音速風洞、(3)矩形断面バリスティックレンジ、(4)低速格子乱流風洞、(5)高繰返しパルスレーザーおよび放電装置、(6)三次元非定常数値シミュレーションおよび診断計測を駆使して研究に取り組む。

4. これまでの成果

・鳥取大学川添博光教授の協力のもと、リング形状天秤を開発し、 $80\text{mm}\times 80\text{mm}$ の小型超音速風洞においても精度よく3分力測定が可能となった。

・既存のバリスティックレンジの加速管断面形状を $44\text{mm}\times 20\text{mm}$ の矩形断面に改造し、よりアスペクト比が高い飛行体モデルを射出することを可能にした。さらに、管内空力分離と固体衝突を組み合わせたハイブリッドサボ分離法の考案により、三次元模型の飛行姿勢を精度よく保ったままの射出が可能になった。

・低乱風洞において格子乱流を発生させ、衝撃波発生装置から放出された衝撃波との干渉による背後圧力変動の統計的挙動を計測する装置を開発し、背後圧力ピーク値の標準偏差が、速度変動にほぼ比例することを定量的に示した。

・軸対称非定常 Navier-Stokes(N-S)数値流体シミュレーションコードを開発し、空力特性に対する高繰返しエネルギー付加の効果に

関する実験の内部診断を行った。定常3次元N-Sコードを開発し、非対称流れ場に対するエネルギー付加の影響評価を行った。非圧縮3次元非定常N-Sコードを開発し、衝撃波と干渉した後の乱流の挙動についての、数値解析に適用した。

- ・円錐台、スパイク付円柱などの軸対称物体周りの超音速流れに対するエネルギー付加の効果を、バロクリニック渦の滞留時間に着目して実験、数値解析を行ない、抗力低減量が円錐台直径のほぼ3乗に比例すること、その原因が圧力変調が作用する領域の面積とバロクリニック作用によって発生した渦の滞留時間の積によることを明らかにした。また、連続して発生する渦輪同志の干渉による三次元的不安定性と、それが圧力パワースペクトルに及ぼす影響を明らかにした。
- ・衝撃波管を用いて、衝撃波背後に生じる一次元流れを利用し、繰返しレーザーパルスによるエネルギー付加によって、レーザー加熱バブル列を形成することに成功した。
- ・境界層剝離を伴う流れに繰返しエネルギー付加を行ないその効果を確認するとともに、影響領域の大きさが最大となる周波数が存在することがわかった。

5. 今後の計画

- ・3次元形状物体の空力特性に対する繰返しエネルギー付加の影響に関する系統的なデータを取得し、揚抗比向上条件を見出す。
- ・平成24年度に開発した大型衝撃波管（断面120mm×120mm）を用いて、垂直衝撃波と格子乱流の干渉実験を行う。これまでと違い垂直波衝撃波を用いるので、干渉前の衝撃波背後の圧力は一様であり、これまでのデータに加えて圧力・速度変調に対する干渉距離の影響を新たに調べることができる。
- ・衝撃波管の対向作動を利用して、弱い垂直衝撃波背後の低速流れを利用したレーザー加熱バブル列の生成と、独立した強さの垂直衝撃波との干渉実験を行う。
- ・バリスティックレンジを利用して能動的乱流生成とそれによる圧力場変調の影響を実験的に調べる。
- ・レーザー学会と日本航空宇宙学会の合同「レーザー宇宙航空応用検討会」を今年度も継続し、実用展開具体策の検討を継続する。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

A. Sasoh, J.-H. Kim, K. Yamashita, T. Sakai, “Supersonic aerodynamic performance of truncated cones with repetitive laser-pulse energy depositions,” *Shock Waves - An International Journal on Shock Waves*, accepted.

格子乱流のエネルギー減衰域における不変量について、北村拓也, 長田孝二, 酒井康彦, 佐宗章弘, 齋藤大輝, 原崎辰耶, 日本機械学会論文集 (B 編), 78 巻 795 号 1928-1941 頁, 2012.

Jae-Hyung Kim, Atsushi Matsuda, Takeharu Sakai, Akihiro Sasoh “Wave Drag Reduction with Acting Spike Induced by Laser-Pulse Energy Depositions,” *AIAA Journal*, Vol. 49, No. 9, 2011, pp. 2706-2078.

Jae-Hyung Kim, Atsushi Matsuda, Akihiro Sasoh “Interactions among baroclinically-generated vortex rings in building up an acting spike to a bow shock layer,” *PHYSICS OF FLUIDS* **23**, 021703-1-4, 2011.

佐宗章弘 「レーザーパワー航空宇宙推進」
応用物理, 第 82 巻, 第 1 号, 2013, pp. 14-19.

佐宗章弘, 金宰亨, 「Fly By Light Power : エネルギー付加による空力性能の向上」,
日本航空宇宙学会誌, Vol.59, No.691, 2011, pp.233-237.

ホームページ等

<http://akagi.nuae.nagoya-u.ac.jp/>