

狭隘空間における小型ドローンの空力解析に関する研究

-Research on aerodynamic analysis of a small drone in a confined space

○藤田 翔吾 (千葉大学), 鈴木 智 (千葉大学), 池田 慶祐(Liberaware)
○Shogo FUJITA*¹, Satoshi SUZUKI*¹, Keisuke IKEDA*² *¹ Chiba Univ. *² Liberaware

When a drone flies in a confined space, it is affected by ground effects, ceiling effects, and wall effects. The objective of this study is to clarify aerodynamic phenomena in confined spaces where these proximity effects are complexly intertwined. Fluid dynamics analyses of two types of aircraft hovering in the environment are compared.

1.研究背景と目的

狭隘空間での点検業務

立入りが困難な狭隘空間の点検作業に小型ドローンの活用が期待されている。

しかし、ドローンは狭隘空間で飛行する際に、ダウウォッシュが地面によって跳ね返る**地面効果**や、機体が天井や壁に吸い寄せられる**天井効果**、**壁効果**などの影響を受ける。



<https://built.itmedia.co.jp/bt/articles/1802/08/news040.html>

墜落の危険がある。

研究目的 本研究では、複数の種類の近接効果が複雑に絡み合った狭隘空間で発生する空力現象を明らかにすることを目的とする。

2種類のドローンで狭隘空間飛行時の流体解析を行い、比較することで、**狭隘空間においてドローンが受ける空気力学的影響を検証した。**

2.流体解析の条件

使用機体 Liberaware社のIBIS1.0とIBIS2.0を使用する。



IBIS1.0

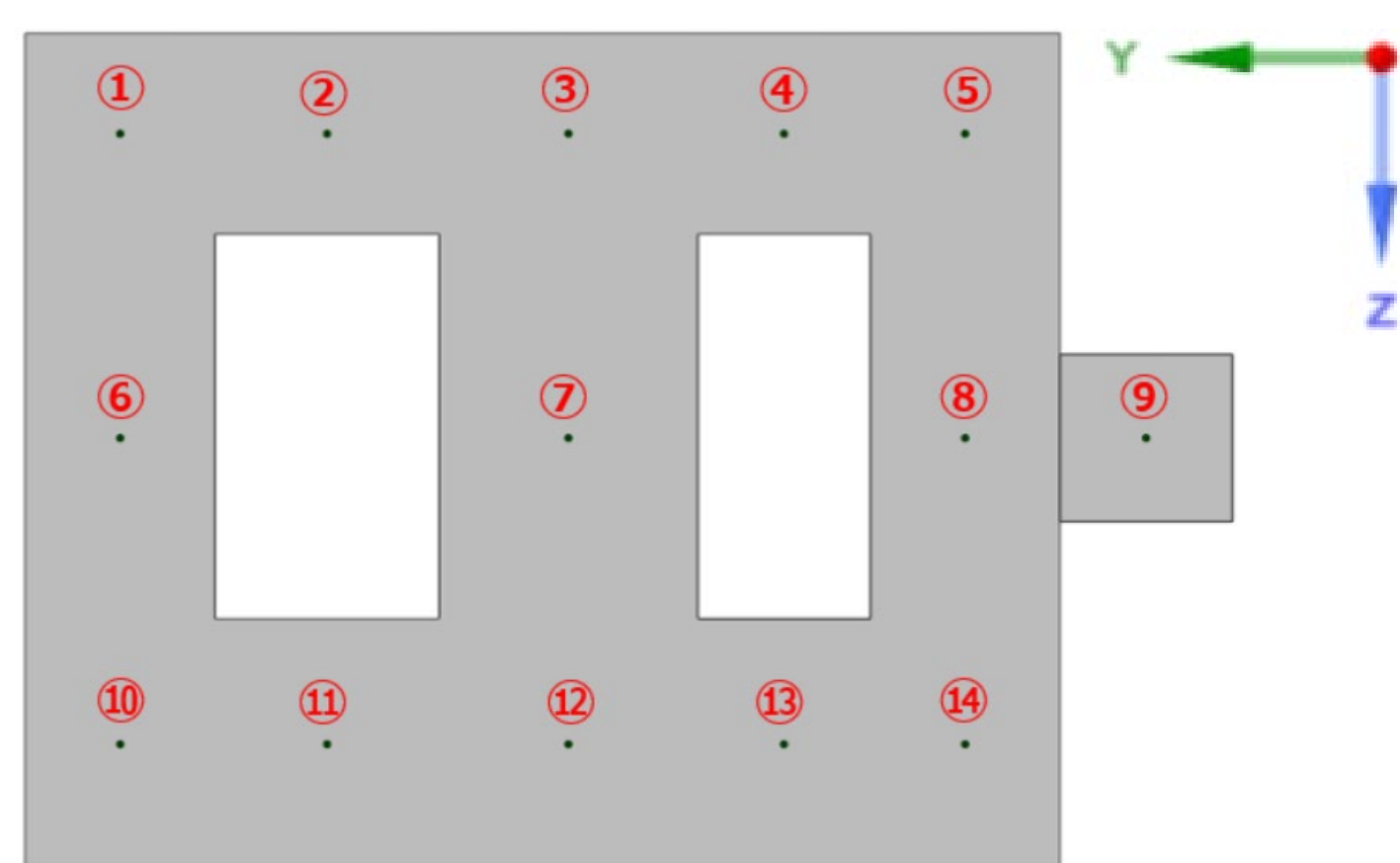


IBIS2.0

機体の仕様

	IBIS1.0	IBIS2.0
Dimensions [mm]	L200×W150×H20	L195×W190×H55
Mass[g]	120	243
Rotor diameter [mm]	76	76

解析環境



- 狭隘空間として横3.5m, 高さ2.5m, 奥行き0.75m の上図の環境を想定する。
- 右図の14ポイントでホバリング飛行時の流体解析を行う。
- ただし、シミュレーション環境はYZ 平面が対称とする。

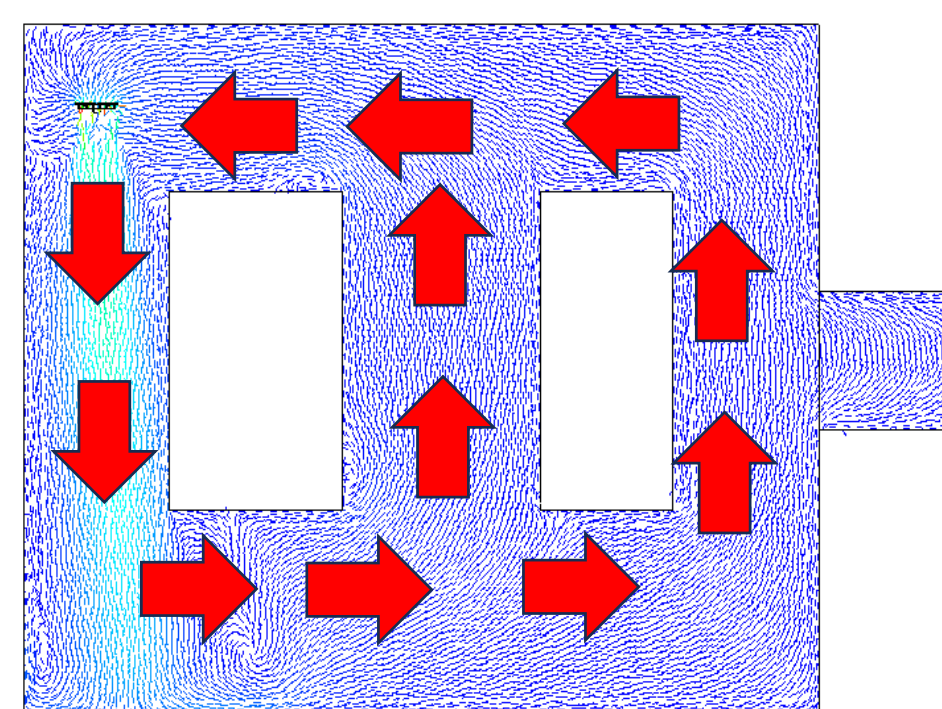
3.IBIS1.0の流体解析

解析結果

流体解析の結果として、各ポイントでIBIS1.0にかかる力 F_y と M_x を出力する。

Force Direction		Table F_y at each point [N] ($\times 10^{-2}$)					
		y[m]					
z[m]	0.3	3.225	2.625	1.925	1.3	0.775	0.25
	1.21	2.98	0.0107	0.928	-0.236	-2.46	
	2.125	-0.472	-0.368	-0.720	-0.0494	0.712	

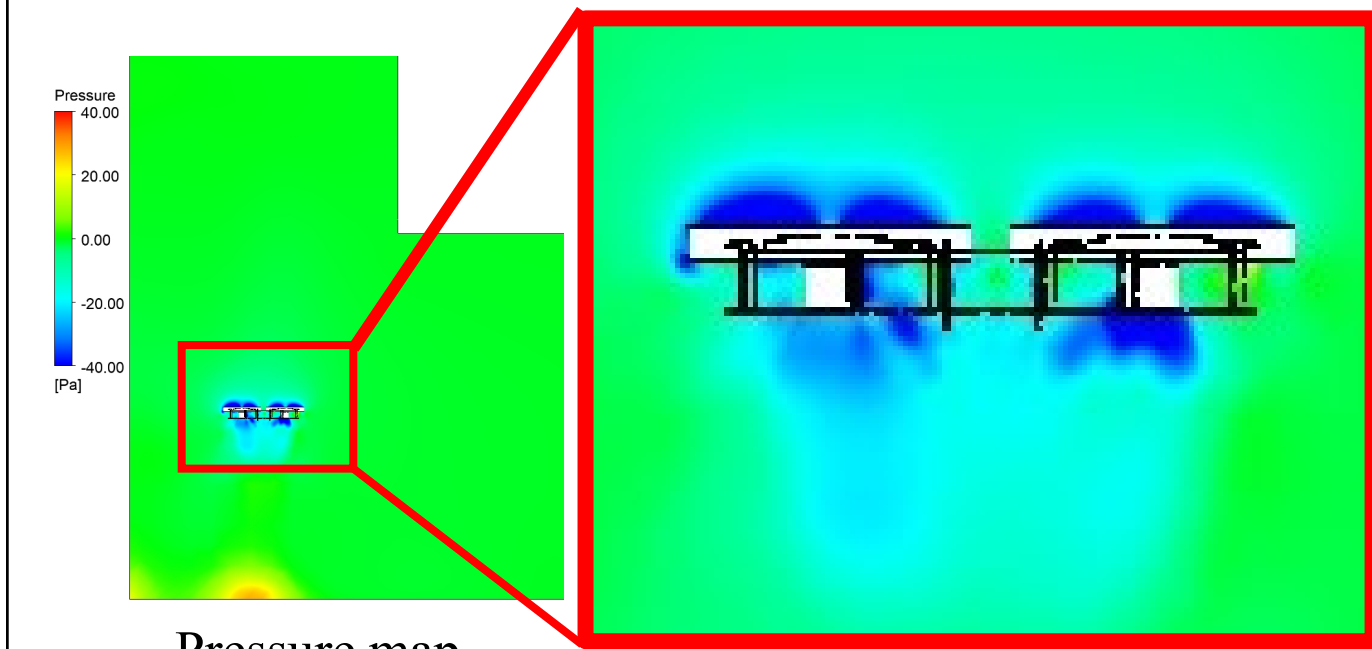
Moment Direction		Table M_x at each point [N · m] ($\times 10^{-3}$)					
		y[m]					
z[m]	0.3	3.225	2.625	1.925	1.3	0.775	0.25
	1.21	-0.604	0.348	-0.188	0.0406	0.131	
	2.125	3.70	0.0920	0.124	-0.00144	-4.24	



- ポイント①, ⑤で F_y が特に大きくなった。
→図のような循環流れにより壁に向かう力が発生していると考えられる。

- ポイント⑩, ⑭で M_x が特に大きくなった。
→壁側プロペラ上部の負圧が大きくなり、壁側の推力のみ低下することで壁側に傾くトルクが発生していると考えられる。

Left Propeller	Right Propeller
0.3076[N]	0.3482[N]

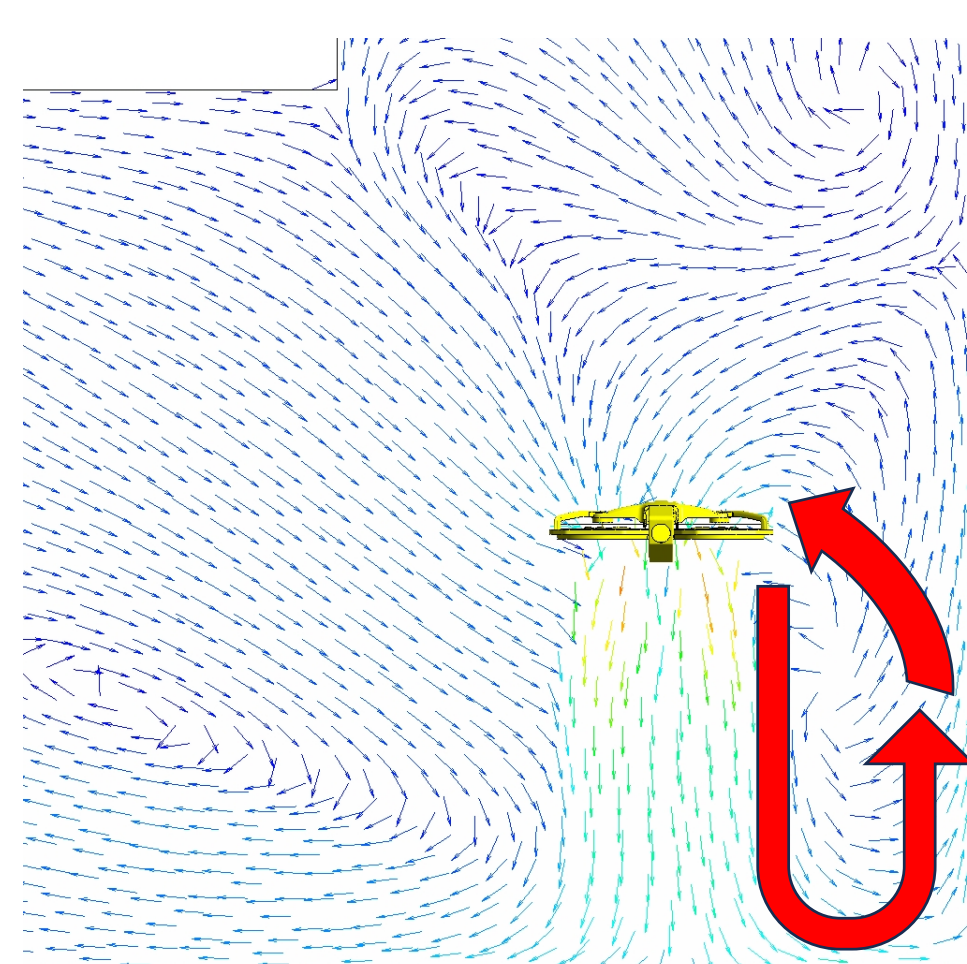


4.IBIS2.0の流体解析

流体解析の結果として、各ポイントでIBIS2.0にかかる力 F_y と M_x を出力する。

Force Direction		Table F_y at each point [N] ($\times 10^{-2}$)					
		y[m]					
z[m]	0.3	3.225	2.625	1.925	1.3	0.775	0.25
	1.21	3.66	0.334	-0.172	0.130	-3.21	
	2.125	-4.96	-0.254	-0.778	-0.0806	7.71	

Moment Direction		Table M_x at each point [N · m] ($\times 10^{-3}$)					
		y[m]					
z[m]	0.3	3.225	2.625	1.925	1.3	0.775	0.25
	1.21	2.04	-0.320	0.280	0.660	-2.46	
	2.125	-6.78	0.180	0.100	1.06	10.7	



- ポイント⑩, ⑭で F_y が特に大きくなった。

→ドローン自身が発生させた風が壁を伝って戻ってきているため、壁側から強い力を受けていると考えられる。

- ポイント⑩, ⑭で M_x が特に大きくなった。

→壁と反対側のプロペラ下部に強い負圧が発生している。これにより壁と反対側のプロペラの推力が減少し、トルクが発生していると考えられる。

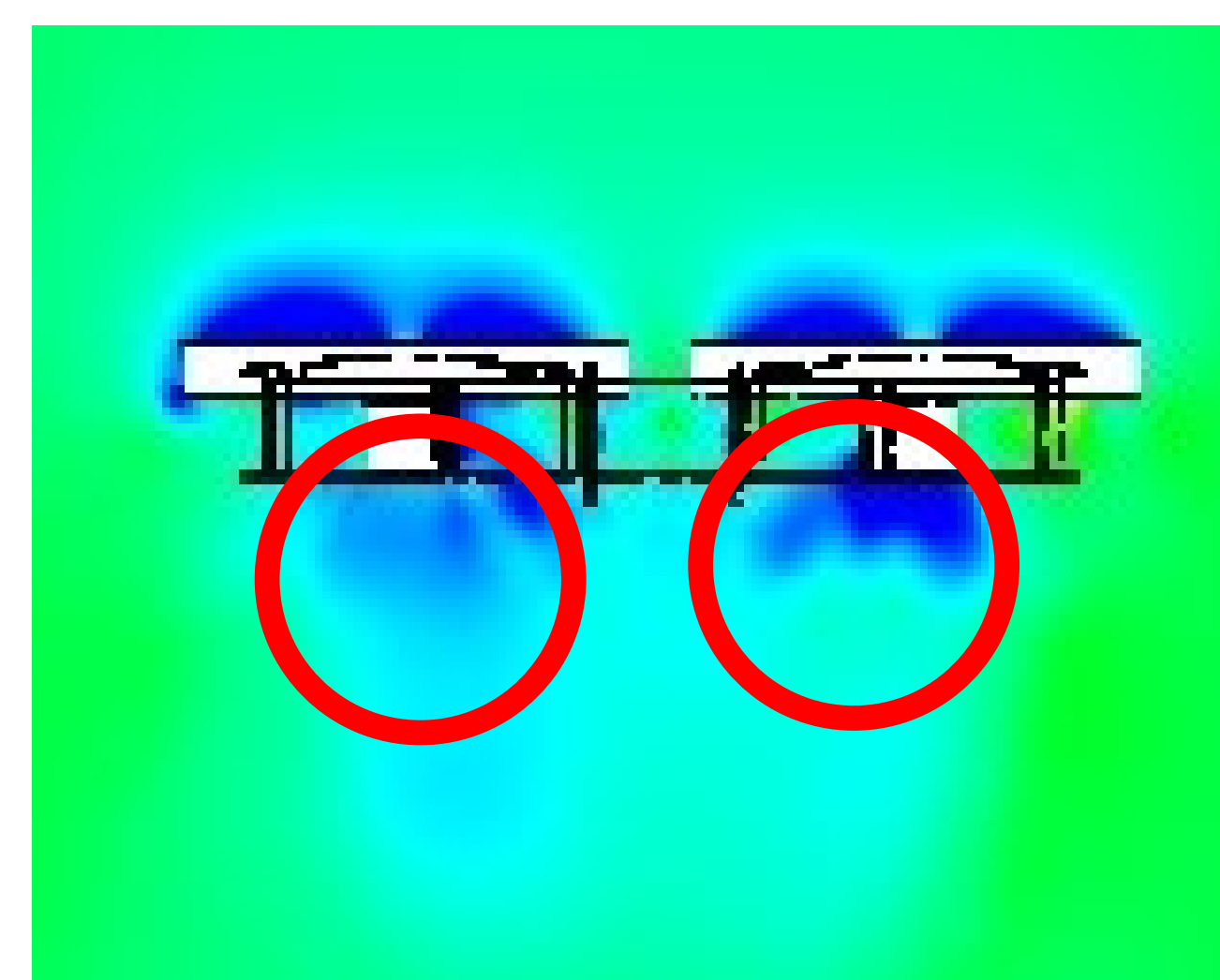
Left Propeller	Right Propeller
0.5634[N]	0.5952[N]

5.比較・考察

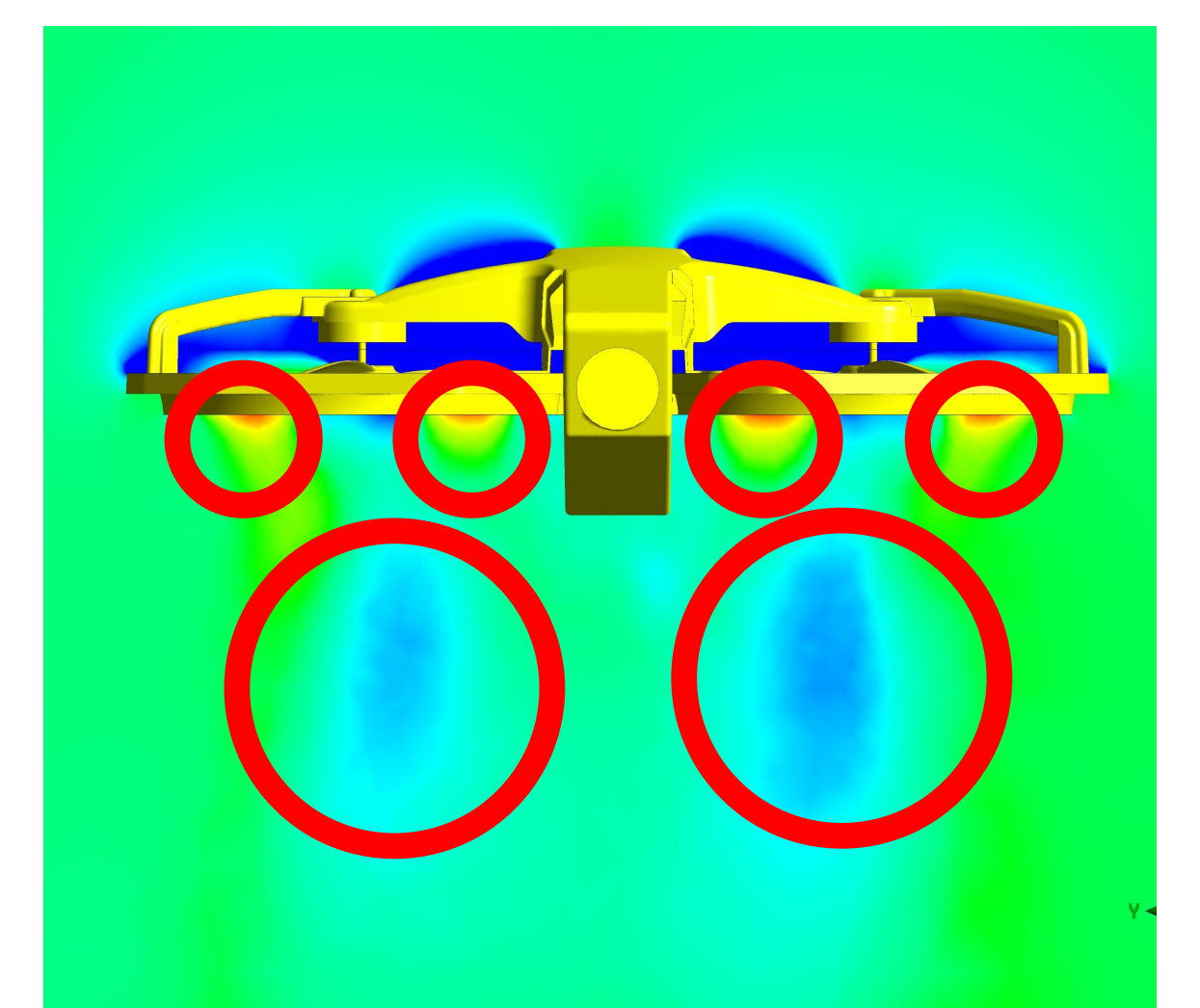
- 実際に狭隘空間で2種類の機体をホバリングさせた時の目標値とのRMSEを示す。

RMSE[m]	
IBIS1.0	IBIS2.0
0.07157	0.04051

IBIS2.0の方が目標値への追従性が優れている。



IBIS1.0



IBIS2.0

- IBIS1.0では発生した負圧が機体に張り付いている。
- IBIS2.0ではダクトドファンにより陽圧が発生し、機体から離れた箇所に負圧が発生している。

→ IBIS2.0に向かう空気の流れが減少し、空力的な影響を受けにくくなると考えられる。

6.まとめ

- 重量や構造の違う2種類のドローンのホバリングを想定し、流体解析を行った。
- 2種類のドローンが受ける空気力学的影響を比較、考察した。
- 今後は、サイズや構造の違う機体で流体解析を行い、狭隘空間で発生する空力現象を明らかにすることを目指す。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業（JPNP22002）の結果得られたものです