

実験用ヘリコプタによる青ヶ島新ヘリポート候補地上空の気流の計測*

又 吉 直 樹*¹, 奥 野 善 則*¹, 石 井 寛 一*¹
小 瀬 善 則*², 前 山 徳 久*³, 曾 平 統*³

Measurement of Atmospheric Turbulence around Planned Aogashima Island Heliport Using Research Helicopter MuPAL-ε*

Naoki Matayoshi *¹, Yoshinori Okuno *¹, Hirokazu Ishii *¹
Yoshinori Kose *², Norihisa Maeyama *³, Pingtong Zeng *³

ABSTRACT

To evaluate the flight safety of the planned Aogashima Island heliport located on a cliff top, local wind field around the planned heliport was investigated by the Toho Air Service Co. LTD. (Toho Air Service), the Japan Weather Association (JWA) and the National Aerospace Laboratory of Japan (NAL). This investigation was arranged by the Toho Air Service and included numerical simulation analysis of the local wind field, and a flight test. The numerical simulation analysis conducted by the JWA provided an accurate picture of the general characteristics of the local wind field, and was used to identify situations in which turbulence was likely to occur. In accordance with the results of the numerical simulation analysis, the flight test was conducted using the MuPAL-ε NAL research helicopter. This flight test enabled the successful measurement of atmospheric turbulence around the planned heliport. Thus the influence of the wind field on flight safety was effectively evaluated using both numerical simulation analysis and the flight test results.

Keywords: Atmospheric Turbulence, Flight Testing, Numerical Simulation, Helicopter

概 要

東京都の青ヶ島では、ヘリコプタ・コミュータの就航率向上のため新しいヘリポートを設置することが検討されているが、その候補地の三方が断崖となっているため、強風時に生じる風の乱れがヘリコプタの離発着に影響を及ぼす可能性が懸念されている。東邦航空(株)がとりまとめとなって行った設置可否調査の一環として(財)日本気象協会が風況の数値シミュレーション解析を実施し、また独立行政法人航空宇宙技術研究所は実験用ヘリコプタMuPAL-ε(三菱式MH2000A型機)を用いた飛行実験によって候補地周辺の風の乱れを計測した。数値解析で全体の風況を把握して風の乱れが発生しやすい条件を特定し、その条件下における瞬間的な気象場を飛行実験によって計測するという手法により、航空機の飛行安全に対する風の影響を効率的かつより現実に即した形で評価することが可能となった。

* 平成 15 年 4 月 30 日受付 (received 30 April, 2003)

*¹ 飛行システム研究センター (Flight Systems Research Center)

*² 東邦航空株式会社 (Toho Air Service Co. LTD.)

*³ 財団法人 日本気象協会 (Japan Weather Association)

1. はじめに

東京都の伊豆諸島南端に位置する青ヶ島(図1.1)では、東邦航空株式会社(以下、東邦航空)によるヘリコプタ・コミュータ「東京愛らんどシャトル」が八丈島との間で運航され、島民200人の日常の交通手段として利用されている。しかし、現在のヘリポートは標高274mの地点にあり、特に梅雨の時期等には雲がかかって視程不良により欠航となる日が多いため、より標高の低い島の北端部の平地に新しいヘリポートを設置する計画が検討されている。平成14年度には東邦航空がとりまとめとなって設置可否調査が行われ、航空法で規定される場外離着陸場としての要件(離着陸地帯、進入区域及び進入表面、転移表面等)を満たしていることが測量調査等によって確認された。ただし、設置候補地は三方が断崖になっており、強風時に生じる風の乱れがヘリコプタの離着陸に影響を及ぼす可能性が懸念されたため、調査の一環として財団法人日本気象協会(以下、気象協会)が同島周辺の風況の数値シミュレーション解析を実施し、さらに青ヶ島村からの協力依頼に基づいて、独立行政法人航空宇宙技術研究所(以下、航技研)が実験用ヘリコプタ MuPAL-ε(図1.2、ミュールイブシロン、MuPALはMulti Purpose Aviation Laboratoryの略)を用いて、同



図1.1 青ヶ島全景



図1.2 実験用ヘリコプタ MuPAL-ε

島周辺の風計測飛行実験を行った。

航技研では、航空機を用いた風計測に関する研究を従来実施しており、平成8~9年度には東京都大島空港の滑走路延長に伴う運航安全調査の一環として、固定翼の実験用航空機ドルニエDo228を用いて空港周辺の地形性乱気流の計測を行った実績を有している(文献1~4)。平成12年度から整備された実験用ヘリコプタ MuPAL-εは、応答性に優れる超音波式対気速度センサを用いた風計測システムを搭載しており、気流の早い変化を捉えることが可能となっている。

今回の飛行実験では、数値シミュレーション解析で確認された風の乱れが発生しやすい条件を選んで、現ヘリポートへの進入飛行や新ヘリポート候補地周辺の飛行を行い、風データ及び飛行中の機体諸元データを取得した。飛行実験と同時に、現ヘリポート及び新ヘリポート候補地の地上風計測も実施した。本報告では、これらの実験結果に基づいて新ヘリポート候補地周辺の風況を明らかにすると共に、飛行実験結果と数値シミュレーション解析結果との比較検討を行う。

なお、本稿で用いる単位はSI単位系に準拠するが、航空機で慣用される単位系も併用する。SI単位系への換算値は以下の通りである。

$$\begin{aligned} 1\text{ft} &= 0.3048\text{m} \\ 1\text{kt} &= 0.5144\text{m/s} \\ 1\text{G} &= 9.80667\text{m/s}^2 \\ 1\text{度} &= 0.01745\text{ rad} \end{aligned}$$

2. 実験用ヘリコプタ MuPAL-εによる風計測

2.1 風計測の原理

航空機による風計測では、対地速度ベクトルと対気速度ベクトルの差として風のベクトルが求められる。

$$V_{wind} = V_g - V_a \quad (2.1)$$

ここで、 V_{wind} は風のベクトル、 V_a は機体のエアデータセンサで計測される対気速度ベクトル、 V_g はエアデータセンサの位置における対地速度ベクトルである。 V_g は航法センサで計測される慣性データから以下の関係によって導かれる。

$$V_g = V_{g0} + \omega \times r \quad (2.2)$$

ここで、 ω は機体の角速度ベクトル、 V_{g0} は航法センサの基準点の対地速度ベクトル、 r は航法センサの基準点からエアデータセンサまでの位置ベクトルを表している。

2.2 風計測システム

三菱式MH2000A型機を母機とする実験用ヘリコプタ MuPAL-εは、対気速度ベクトルを計測する超音波速度

計, 対地速度ベクトル及び慣性データを計測する DGPS/INS (Differential Global Positioning System / Inertial Navigation System) 及び誘導情報を計算してパイロットに提示する画像表示装置等を装備している(文献5)。これらの実験システムにより, 設定した経路を正確に飛行しながら風計測を実施することが可能となっている。超音波速度計により計測された対気速度ベクトル V_a と DGPS/INS により計測された対地速度ベクトル V_{go} 及び角速度ベクトル ω の各データの同期をとった後に (2.1), (2.2) 式を適用し, 風のベクトル V_{wind} が算出される。以下, 各システムの概要を述べる。

超音波速度計

気象観測用の風速計として広く利用されている超音波風速計を元に, 航空機用としてより高速域でも使用できるように, 測定部の形状変更等の改良を加えたものである(図1.2, 文献6,7)。3本のプローブのそれぞれに超音波の送受信機が2個ずつ付いており, 隣接するプローブ間の超音波の伝搬速度を計測することによって, 上下方向を含めた3軸の真対気速度を計測することができる。

従来, 航空機の対気速度センサとして使用されているピトー静圧管と比べて,

- 3軸の対気速度が計測可能(対気速度をベクトルとして計測可能)
 - 応答性に優れ, 気流の早い変化を捉えることが可能(計測レート 20Hz)
 - 低速域(静止状態)から計測可能
- といった特長を有している。

対気速度の計測精度は, 超音波速度計の単体誤差, 位置誤差(機体の周りの気流の影響), 及び取り付け誤差等を補正して, 約2kt (1.0m/s) となっている(文献8)。

DGPS/INS

機体の3軸の加速度, 速度(慣性速度), 位置, 角速度, 姿勢角を, ディファレンシャルGPS (DGPS) と慣性航法装置 (INS) の複合センサによって計測する。DGPSとの複合化により INS のドリフト誤差等を推定・除去し, 測位精度を向上させている。計測レートは50Hzであり, 風擾乱の計測にも十分対応が可能である。DGPSの補正情報源としては, 航技研が所有するGPS地上局の他に, 海上保安庁が全国で運用している中波ビーコン局からの信号を利用することが可能であり, 今回の実験では後者を使用している。この場合の計測精度は, 飛行実験の結果から機体位置で約1m, 速度で約0.1m/sとなっている(文献9)。また, 機体の姿勢角に関しても従来のINS単体による計測より高精度化されており, ピッチ角, バンク角が0.05度, 機首方位が0.1度, 角速度が0.1度/秒の精度となっている(仕様値)。



図 2.1 青ヶ島東岸の崖縁を飛行中の機内から見た様子

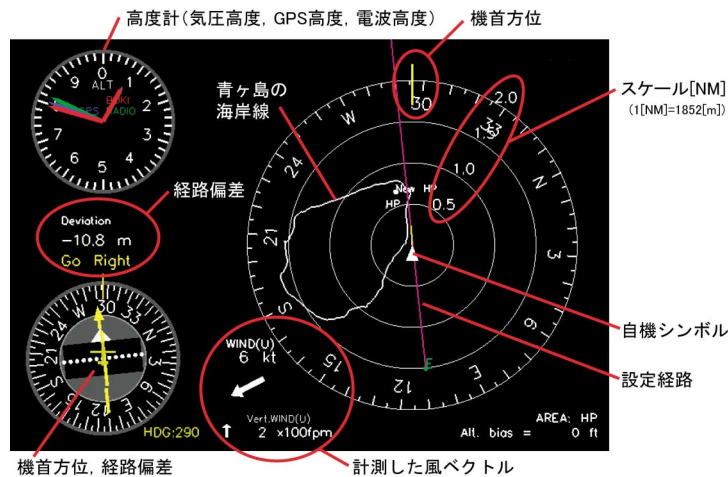


図 2.2 誘導用ディスプレイの例

画像表示システム

機上に搭載した画像表示計算機により表示内容が自由にプログラムできる実験用ディスプレイをコクピットの計器板に装備している(図2.1)。今回の飛行実験では、設定した飛行経路と自機の位置関係と共に、計測データから風を機上でリアルタイムで算出して表示を行った(図2.2)。

2.3 風計測の精度

最終的な風計測の精度は、対地速度ベクトル及び対気速度ベクトルの計測精度に依存する。MuPAL-εの場合、対地速度の計測精度は約0.1m/sと対気速度の計測精度約2kt(1.0m/s)に比べて十分小さいため、風計測の精度は主に対気速度の計測精度に支配され、約2ktとなる。ただし、この値は機体が準定常的な運動をしている場合の精度であり、風の乱れ等によって機体が激しく運動した場合には、機体周りの流れの影響等によって誤差がさらに±1～2kt程度加わる可能性がある(付録)。

3. 飛行実験方法

3.1 飛行実験の概要

平成15年2月18～27日の10日間を飛行実験期間とし、期間中に5回のフライトを実施した。青ヶ島には機体を駐機するための設備がないため、ヘリコプタで片道約20分の距離にある東京都八丈島空港から離発着し、現地で1時間強の実験を行った。各実験の初めには現ヘリポートに一度着陸し、気圧高度計をヘリポートの標高に合わせた。各フライトの飛行時間及び風の条件を表3.1に、また飛行当日の天気図を図3.1に示す。飛行実験前に実施された数値シミュレーション解析(詳細は6章参照)により、強風時、特に風向が西寄りの条件で強い風の乱れが予想されたため、可能な限り該当する条件の日に実験を実施した。19日のフライト#2で降雨のため実験を中止した(機体搭載センサの制約による)ほかは、順調に予定した実験を実施した。

3.2 ヘリポート周辺の地形

青ヶ島現ヘリポート及び新ヘリポート候補地を北東方向から空撮した写真を図3.2に示す。現ヘリポートの標高は900ft(274m)で北側に小さな丘(ヘリポートと丘の標高差は約10m)があり、丘の北側は緩やかな下り斜面となって新ヘリポート候補地へと続いている。候補地は、東西方向にはほぼ水平であるが、南北方向には平均勾配が約3%あり、北端は南端より約4m低くなっている。候補地中央部の標高は670ft(204m)である。また、候補地の三方は海面まで続く断崖となっている。

3.3 飛行パターン

図3.3及び表3.2に飛行パターンの一覧を示す。図3.3中の矢印は飛行方向を示している。各飛行パターンの目的は以下の通りである。

- 飛行パターンA, B

現ヘリポート及び新ヘリポート候補地への進入飛行を行い、両者を比較する。ただし、飛行安全の確保のため、着陸は行わずに対気速度70kt(36.0m/s)を維持しながら対地高度50ft(15.2m)で復行する。対地高度はパターンAでは現ヘリポートの標高900ft(274m)、飛行パターンBでは新ヘリポート候補地の標高670ft(204m)をゼロと定義する。

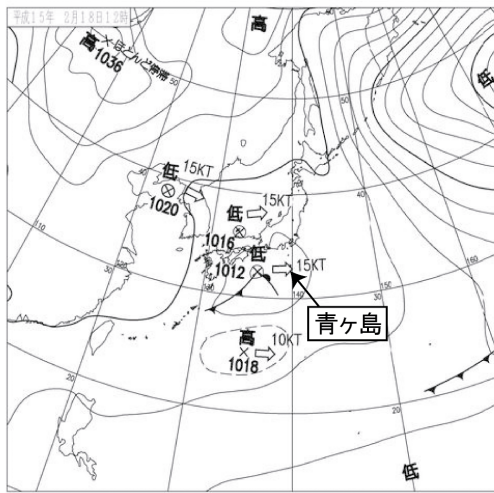
- 飛行パターンC, D, E

新ヘリポート候補地周辺の上空を気圧高度を900, 800, 750あるいは700ft(274, 244, 229, 213m)と変えて水平飛行し、候補地周辺の風データを取得する。飛行パターンC1は候補地北側の崖縁部を通過するケース、C2は候補地直上を通過するケース、D, Eはそれぞれ西側、東側の崖縁部に沿って飛行するケースとなっている。

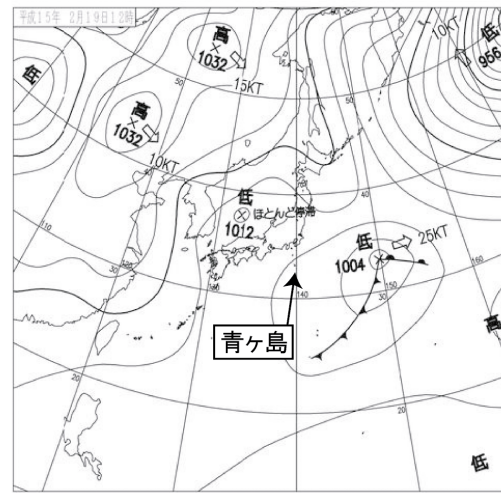
これらの実験では対地的に定められた経路を正確に飛行する必要があるため、計器板の実験用ディスプレイに誘導用画面を表示し(図2.1, 2.2)、コクピット左席搭乗者が操縦を担当する右席パイロットに位置偏差をコール

表3.1 実験フライト実施日時と風の条件

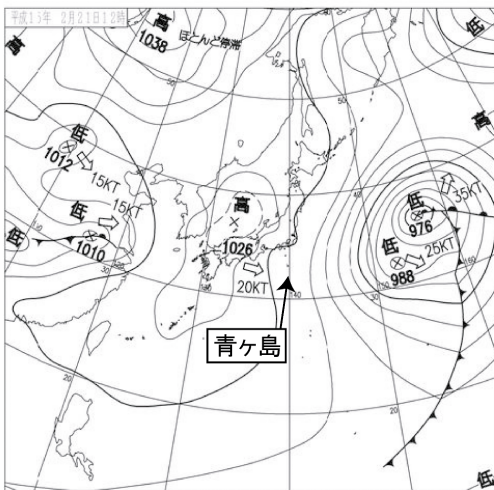
飛行番号	月 日	離陸時刻	着陸時刻	飛行時間	青ヶ島上空の平均風	備考
#1	2月18日	09:55	12:15	2:20	南西 10～15kt	現ヘリポートでの地上風記録なし
#2	2月19日	09:50	11:20	1:30	北東 10～15kt	降雨のため、実験中止
#3	2月21日	09:25	11:30	2:05	北北東 10～15kt	—
#4	2月22日	09:50	12:05	2:15	西北西 10～20kt	降雨のため、実験中に風況が変化
#5	2月27日	09:30	11:55	2:25	北西 20～30kt	新ヘリポート候補地での地上風計測なし



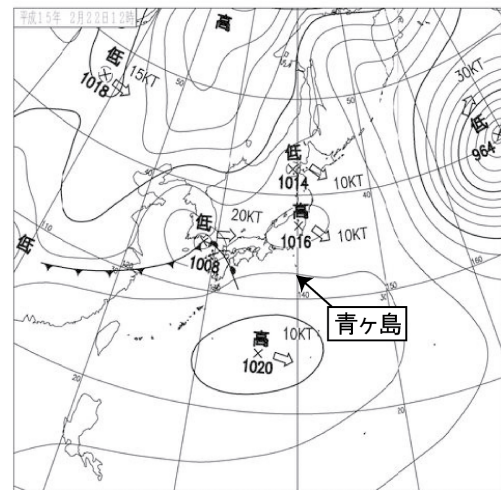
2月18日正午(フライト#1)



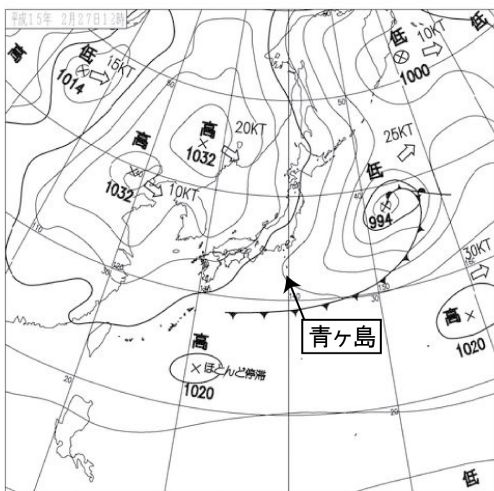
2月19日正午(フライト#2)



2月21日正午(フライト#3)



2月22日正午(フライト#4)



2月27日正午(フライト#5)

図 3.1 地上天気図

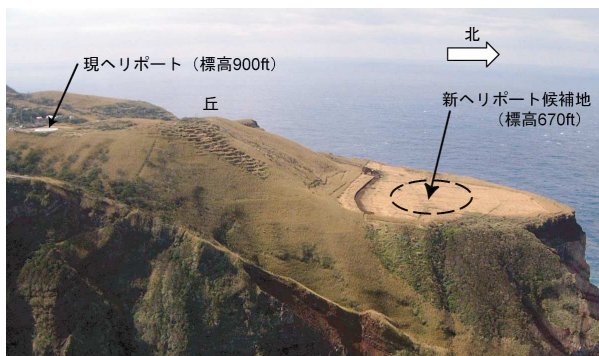


図 3.2 ヘリポート周辺の地形

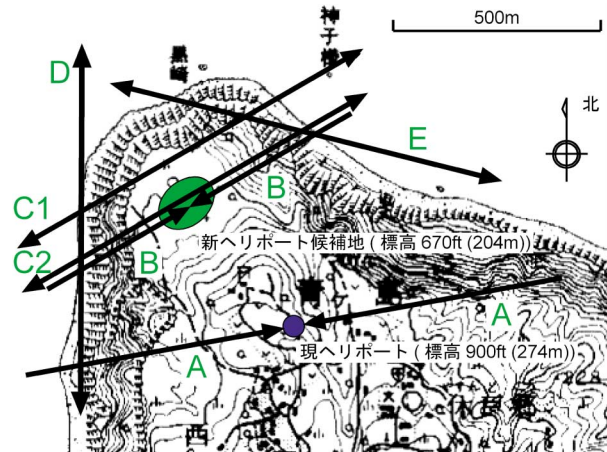


図 3.3 設定した飛行経路

表 3.2 実験飛行パターン一覧

項目番号	飛行内容	飛行方位 [度]	対気速度 [kt]	気圧高度 [ft]
A	現ヘリポートに着陸進入 できるだけ対気速度70ktを維持し、対地高度50ftで復行	080, 260	70	対地 50 まで
B	新ヘリポート候補地に着陸進入 できるだけ対気速度70ktを維持し、対地高度50ftで復行	060, 240	70	対地 50 まで
C	新ヘリポート候補地上空を水平飛行 候補地北側の崖縁を通過 (C1) 候補地直上を通過 (C2)	060, 240	70	900 800 750
D	新ヘリポート候補地西側の崖縁沿いを水平飛行	006, 186	70	900 800 700
E	新ヘリポート候補地東側の崖縁沿いを水平飛行	110, 290	70	900 800 700

しながら飛行を行った。また、低高度を飛行するため安全には十分に配慮し、特に飛行パターン C, D, E については、高い高度から順に実施し、安全を確認した上でより低高度に移行するという手順を踏んだ。飛行方向については、対地速度をより低くするために風上に向う方向を原則とし、特に 800ft 以下の低高度を飛行するケースではこの方向に限定して飛行を行ったが、それ以外のケースでは実験の進捗に応じて実施効率が上がるように往復の方向（風下に向う方向を含む）でも飛行を行った。

4. 飛行実験結果

4.1 機体位置及び風向・風速の定義

機体位置を表す座標系を図 4.1 に示す。水平面内位置の単位は m、高度の単位は ft を使用する。座標系の原点

は現ヘリポートの中心点直下の平均海面上の点とした。原点の WGS84 (World Geodetic System 1984) 座標値は以下の通りである。

北緯 32 度 28.18565 分、東経 139 度 45.43433 分、
高度 133ft (40.5m)

座標軸の方向は、WGS84 座標系で定義される局所水平面内で X が真方位東、Y が北、Z が鉛直上向きをそれぞれ正とする。

風向は風の水平成分から定義し、風が吹いて来る方角を北をゼロとする度の単位で表す。風速の単位は kt を使用し、上下風は上向きを正とする。航空機の昇降率の単位としては通常 fpm (ft/min) が用いられるが、1kt = 約 100fpm (正確には 101.4fpm) として換算することができる。

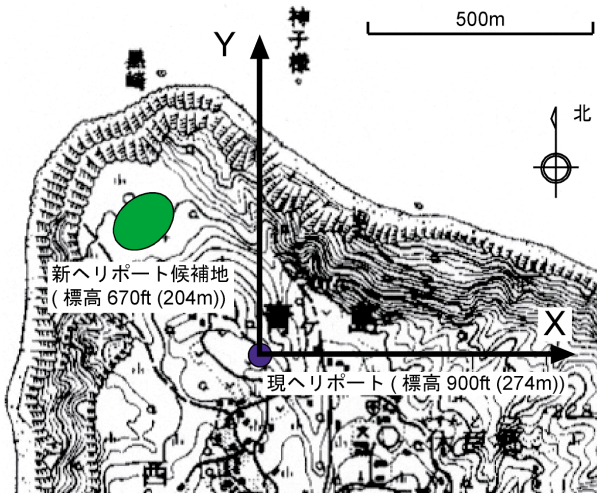


図 4.1 機体位置を表す座標系

4.2 新ヘリポート候補地周辺の風況

解析の対象とするデータはフライト #1, 3, 5 の 3 つとする。フライト #2 は降雨で実験を中断したため、また #4 は実験途中で風況が変化したため除外した。この 3 つの

フライトの結果で主な 3 方向 (山側からの風を除く) の風向における結果が網羅されている。各フライトの飛行パターン C, D, E (新ヘリポート候補地周辺の飛行) で計測された結果を図 4.2~4.4 に示す。図はフライト (即ち風向) 毎に分かれており、各図の (a) が水平面内の風を高度別に示した結果で、破線が基準飛行経路、実線が実際に飛行した経路、矢印が各点で計測された風ベクトル、即ち矢印の向きが風が吹いて行く向き、長さが風速を表している。灰色の実線は青ヶ島の海岸線と等高線 (10m 間隔) である。各図の (b) は基準飛行経路面で切った鉛直面内の風ベクトルを飛行パターン毎に示したものである。縦軸の高度と横軸の距離のスケールは異なっているが、風ベクトルは縦横同じスケールで描かれており、矢印の向きが鉛直面内における風が吹いて行く向きを表している。灰色の実線は基準飛行経路面で切った青ヶ島の稜線 (地図の等高線から読みとって作成した) である。図中の数字①~③は以下に示す文章の番号と対応している。

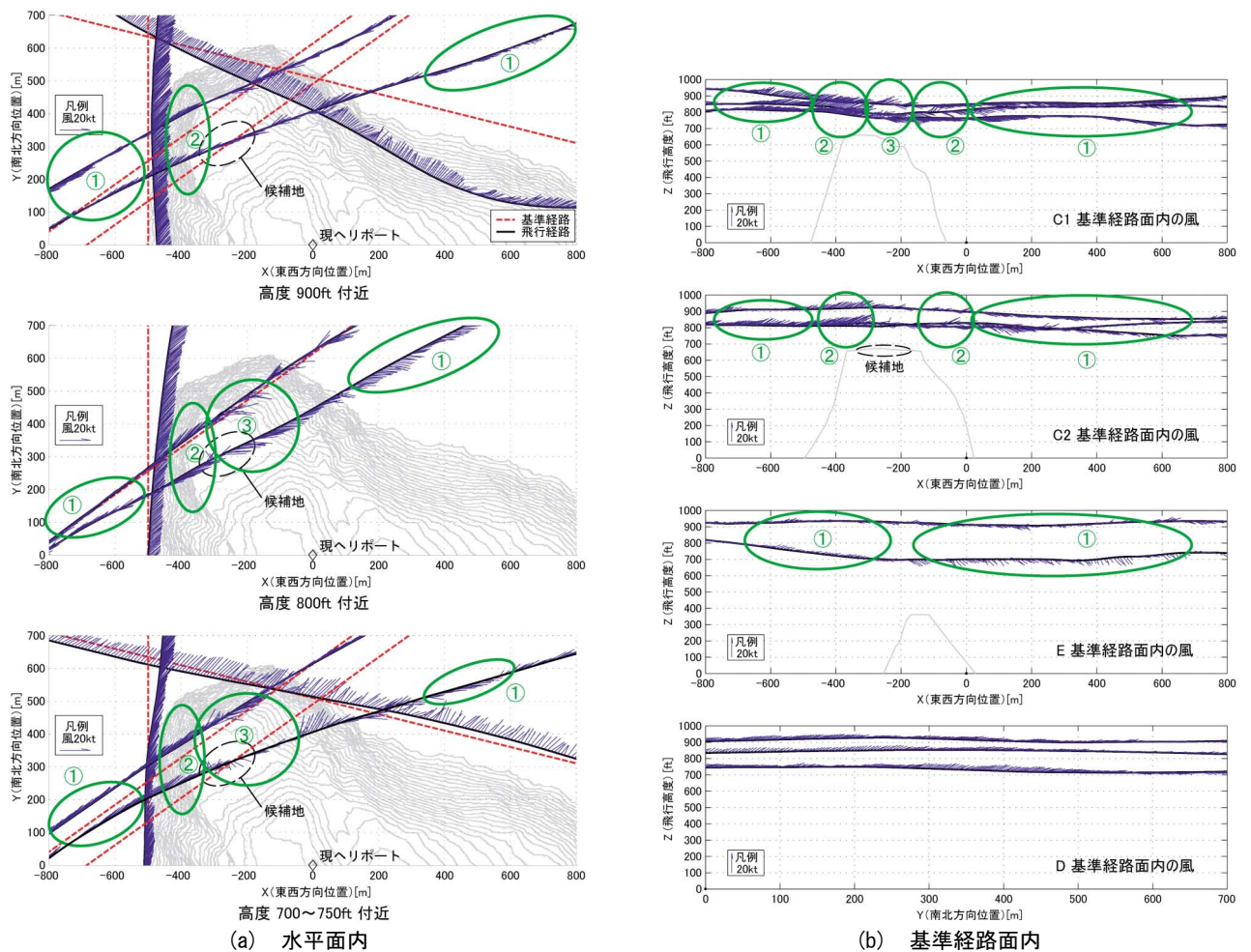


図 4.2 新ヘリポート周辺の風況 (南西の風 10~15kt 2月18日 フライト #1)

図4.2 南西の風10~15kt (5.1~7.7m/s), フライト#1

- ① 風上にあたる島の西側では南西風かつ5kt (2.6m/s) 程度の上昇風, 東側では西風かつ5kt程度 of 下降風となり, 水平方向, 鉛直方向共に島を回り込む流れが見られる。
- ② 風上の候補地西側の崖縁部上空では, 風速が5~10kt (2.6~5.1m/s) 増加し, 最大15kt (7.7m/s) 近い上昇風が吹く。風下の候補地東側の崖縁部上空では最大10kt (5.1m/s) 近い下降風が吹く。
- ③ 候補地及びその北側の崖縁部上空では, 高度800ft (244m) 以下で風向・風速の大きな変化が見られる。風速が10~15kt (5.1~7.7m/s) 急激に減少し, 一部では風向も逆転している。上下風も±5kt (2.6m/s) 程度変化する。

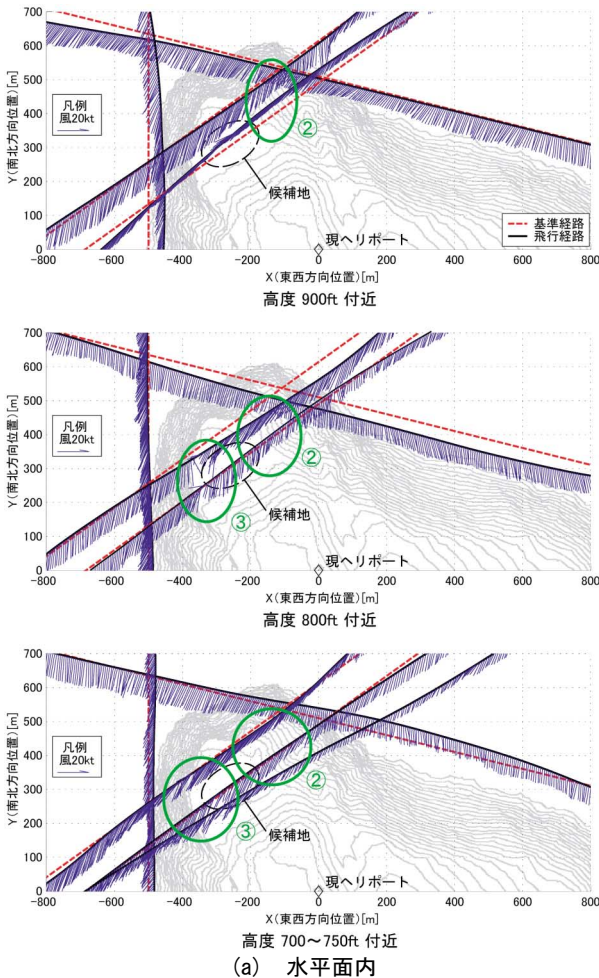


図4.3 新ヘリポート周辺の風況 (北北東の風10~15kt 2月21日 フライト#3)

図4.3 北北東の風10~15kt (5.1~7.7m/s), フライト#3

- ① 風上にあたる島の東側では5kt (2.6m/s) 程度の上昇風, 西側では5kt程度 of 下降風となり, 鉛直方向に島を回り込む流れが見られる。
- ② 風上の候補地東側の崖縁部上空では, 風速が5kt (2.6m/s) 前後増加し, 最大10kt (5.1m/s) 近い上昇風が吹く。風下の候補地西側の崖縁部上空では最大10kt 近い下降風が吹く。
- ③ 候補地西側の崖縁部の高度800ft (244m) 付近で風向・風速の比較的大きな変化が見られるものの, 候補地上空では顕著な風の乱れは見られない。

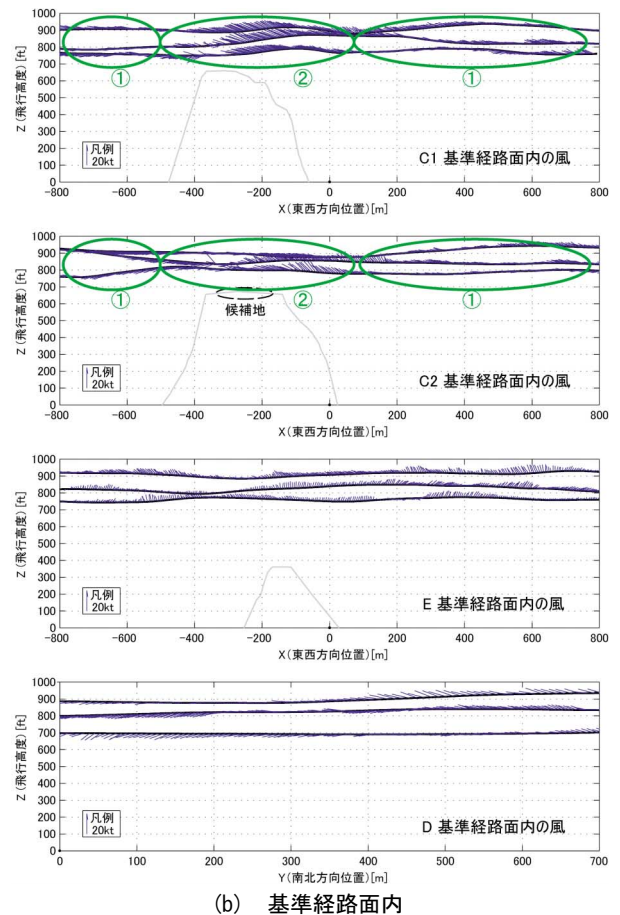


図4.4 北西の風20~30kt(10.3~15.4m/s), フライト#5

- ① 高度700ft(213m)では、島の北側で風速が小さく
なると共に風向が北西から西北西に変化し、水平方
向に島を回り込む流れが見られる。
- ② 候補地東西の崖縁部上空では、風速が5~10kt(2.6
~5.1m/s)増加する。候補地北側の崖縁部を通過す
る飛行パターンC1の基準飛行経路面内では、島の
上空全域で上昇風が吹き、風速は最大15kt(7.7m/
s)近くに達する。風下の島の東側でも顕著な下降風
は見られない。また、候補地直上を通過する飛行パ
ターンC2の基準飛行経路面内でも、西側の崖縁部
上空では最大15kt近い上昇風が吹く。
- ③ 候補地上空では、高度800ft(244m)以下で風向・
風速の大きな変化が見られる。候補地西側の崖縁部
から候補地にかけては、②で示した風速の増加が見
られた後、風速が20kt(10.3m/s)以上急激に減少
して5kt(2.6m/s)未満となり、風向も逆転する。候

補地上空では、風速が一旦回復するものの、5~25kt(2.6~12.9m/s)の範囲で断続的に変化する。上下風も、候補地上空から候補地東側の崖縁部上空にかけて、±15kt(7.7m/s)近く変化する。一方、候補地北側の崖縁部では大きな乱れは見られない。

4.3 現ヘリポートと新ヘリポート候補地との比較

図4.5~4.7に各フライトの飛行パターンA,Bで計測された現ヘリポート及び新ヘリポート候補地への進入中の風況と機体諸元を示す。各図の(a)は水平面内及び基準飛行経路面で切った鉛直面内の風、図(b),(c)は横軸を東西方向の機体の位置(図(a)の横軸と同じ)として風と機体諸元を示したもので、図(b)が飛行パターンA(現ヘリポート)、図(c)が飛行パターンB(新ヘリポート候補地)の結果である。機体諸元は、対地高度、対気速度、上下方向加速度(機体軸)、機体姿勢角、操縦装置の操舵量、ロータ回転速度が示されている。

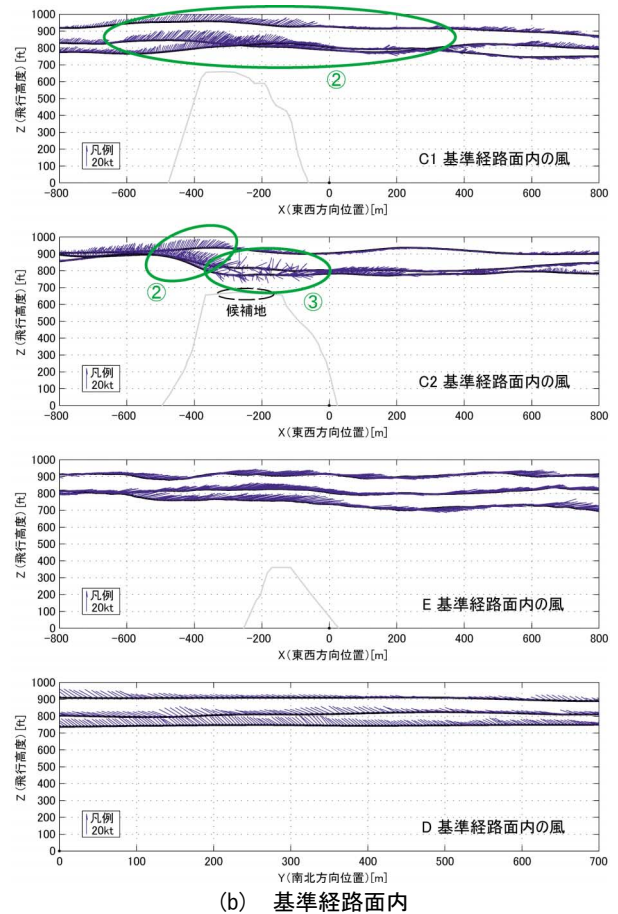
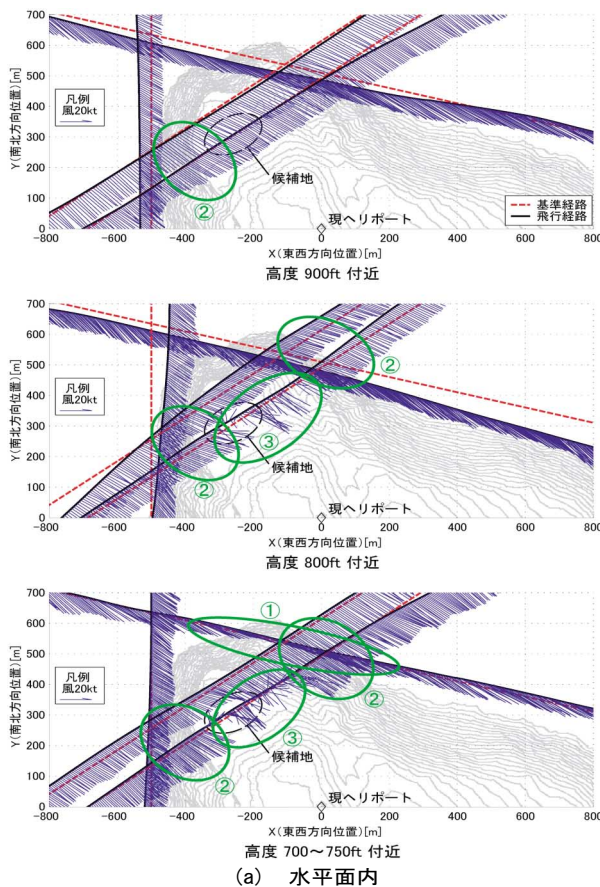
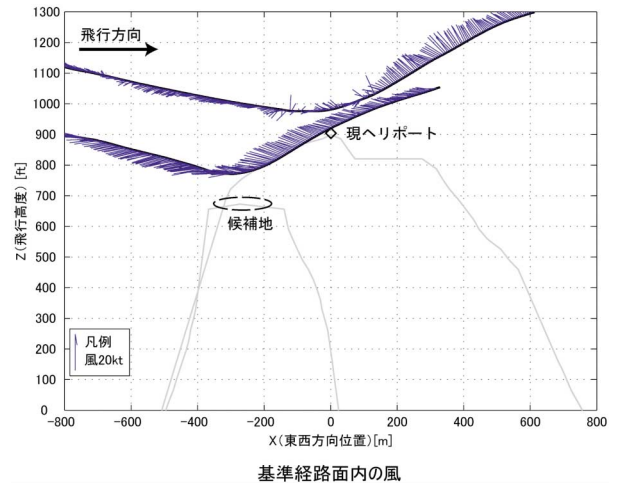
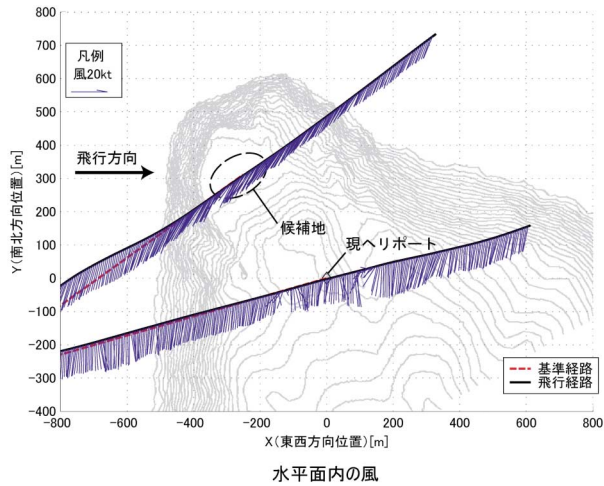


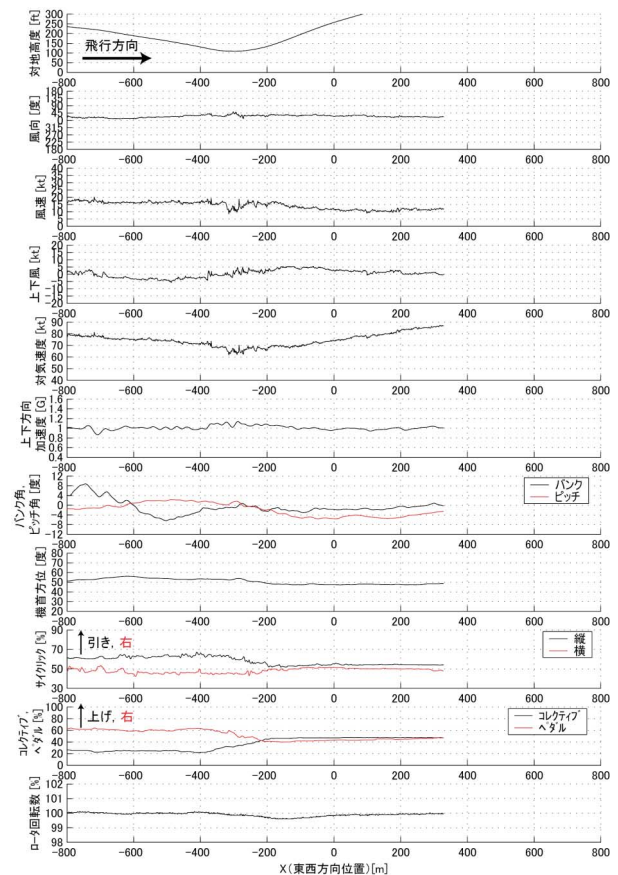
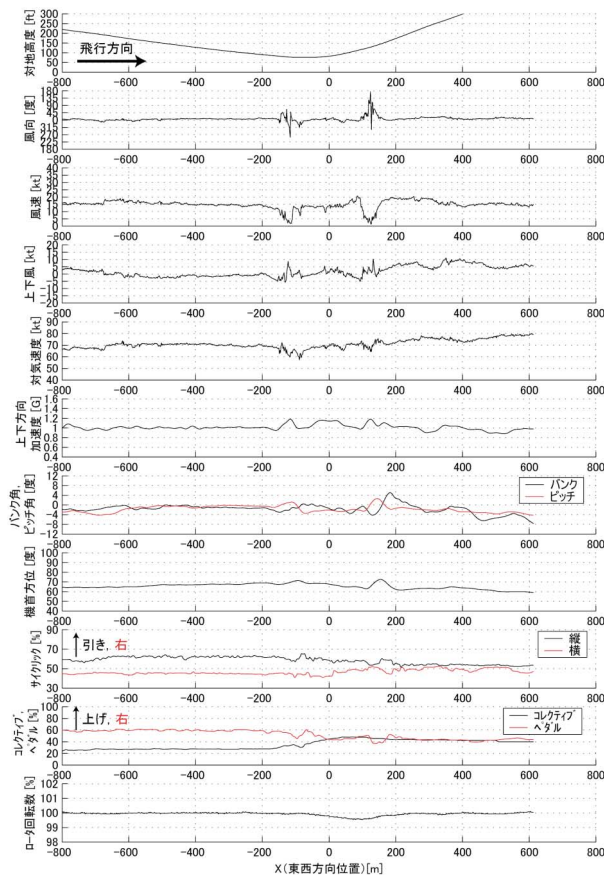
図4.4 新ヘリポート周辺の風況(北西の風20~30kt 2月27日フライト#5)

図4.6 北北東の風10~15kt (5.1~7.7m/s), フライト#3
 進入中の風の変化は現ヘリポートの方が大きく、ヘリポートの前後100m付近(対地高度80~150ft (24.4~45.7m))で風速が5kt (2.6m/s)未滿に減少し、-5~+10kt (-2.6~+5.1 m/s)の上下風の変化が見られる。現ヘリポート北側にある丘の影響と考えられる。機体の対気速

度の変動は10kt (5.1m/s)弱と比較的小さいが、上下方向加速度の変動が最大0.2G (2.0m/s²), 機体姿勢、特に機首方位の変動が最大約10度に達している。新ヘリポート候補地への進入でもX-350m付近で風速が5kt程度減少するが、機体運動への影響は小さい。



(a) 進入中の風況



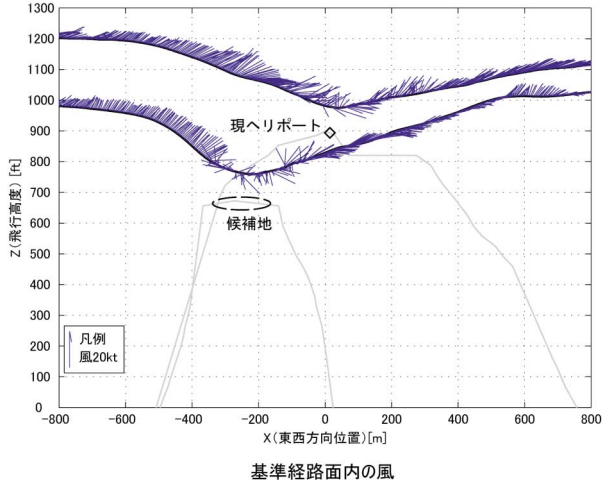
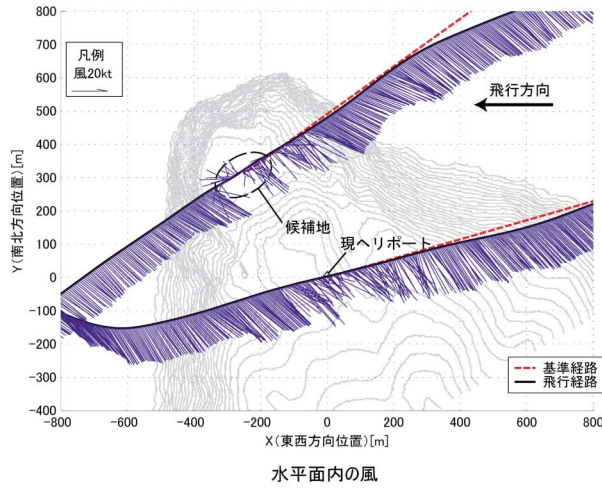
(b) 現ヘリポートへ進入中の機体諸元

(c) 新ヘリポート候補地へ進入中の機体諸元

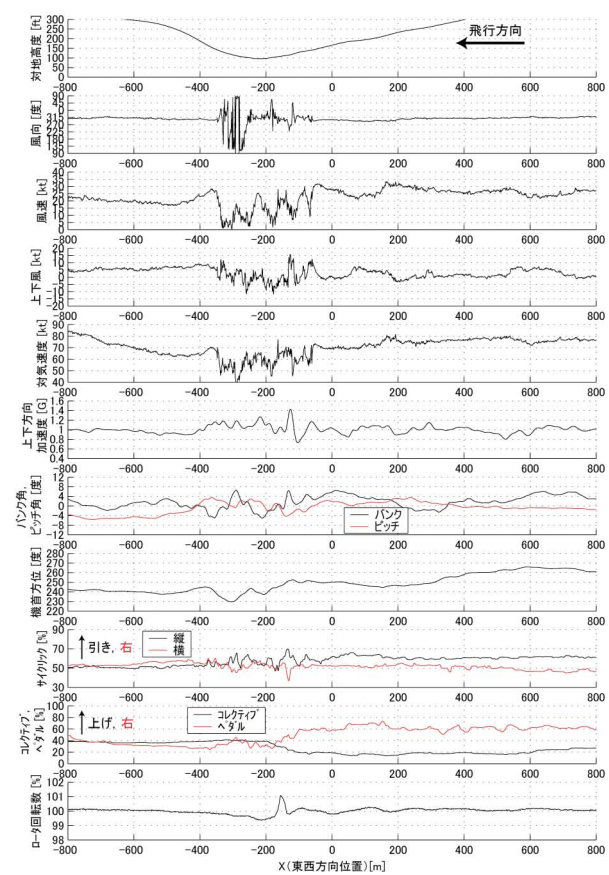
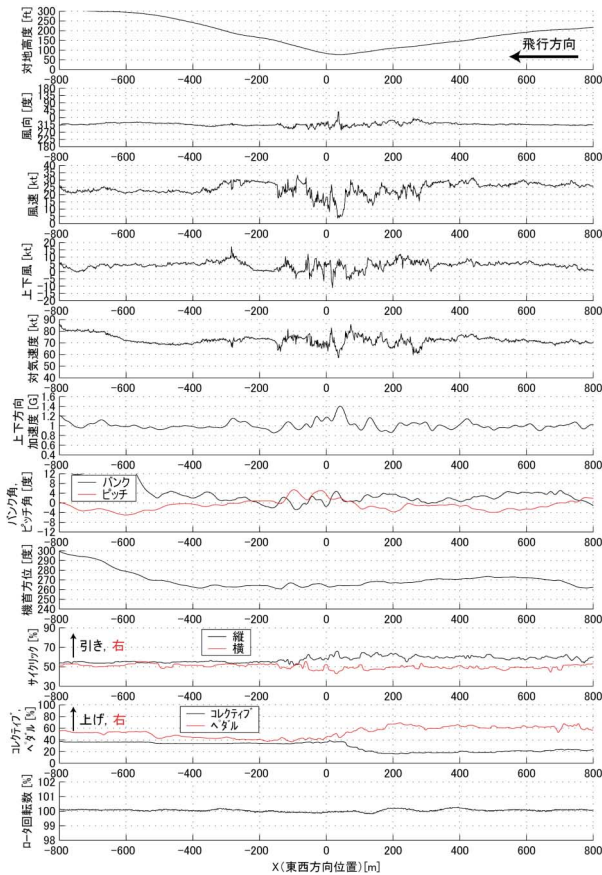
図4.6 現ヘリポート及び新ヘリポート候補地への進入(北北東の風10~15kt 2月21日 フライト#3)

図4.7 北西の風20~30kt(10.3~15.4m/s), フライト#5
 進入中の風の変化は新ヘリポート候補地の方が大きく、
 候補地上空 X-350~-50m (対地高度 150~100ft (45.7
 ~30.5m)) にかけて風速が断続的に5kt (2.6m/s) 未満
 に減少すると共に、風向も大きく変化し一部では逆風と
 なっている。この結果、機体の対気速度が一時的に40kt

(20.6m/s) 以下まで減少している。現ヘリポートでも、
 ヘリポートの手前 (東側) 50m (対地高度 80ft (24.4m))
 付近で風速が5kt弱まで減少しているが、逆風にはなっ
 ておらず、対気速度は60kt (30.8m/s) 弱までしか低下
 していない。機体姿勢の変動は、新ヘリポート候補地の方
 が大きく、特に機首方位が10度以上変動している。操



(a) 進入中の風況



(b) 現ヘリポートへ進入中の機体諸元

(c) 新ヘリポート候補地へ進入中の機体諸元

図4.7 現ヘリポート及び新ヘリポート候補地への進入 (北西の風 20~30kt 2月27日 フライト#5)

舵量も、新ヘリポート候補地の方が大きくなっている。上下方向加速度の変動はほぼ同程度であるが、両者共に-0.2~+0.4G (-2.0~+3.9m/s²) と大きな値となっている。また、新ヘリポート候補地では、X-150m付近で15kt (7.7m/s) 近い上昇風を受け、ロータ回転速度が1%強増加している。

4.4 飛行実験結果のまとめ

以下に、今回の飛行実験で得られた結果をまとめる。

風速10~30kt (5.1~15.4m/s) における新ヘリポート候補地周辺の風況

- 1) 風上側の崖縁部上空では、風速が5~10kt (2.6~5.1m/s) 増加する。
- 2) 島の風上側では5kt (2.6m/s) 程度の上昇風、風下側では5kt程度 of 下降風が吹き、崖を越えて鉛直方向に島を回り込む流れが見られる。特に崖縁部では、風上側で最大15kt (7.7m/s) 近い上昇風が、風下側で最大10kt (5.1m/s) 近い下降風が吹く。
- 3) 候補地上空の風の乱れは、東寄りの風より西寄りの風で大きくなる。西側の崖がより急峻であるためと考えられる。
- 4) 候補地上空の風の乱れは、主に高度800ft (244m) (対地高度130ft (39.6m)) 以下で見られ、高度900ft (274m) (対地高度230ft (70.1m)) では殆ど見られない。
- 5) 特に西寄りの風の場合、候補地上空の高度800ft (対地高度130ft) 以下では、風速が定常値より10~20kt (5.1~10.3m/s) 以上低下し、風向も一部逆転する現象が見られる。上下風も±10kt (5.1m/s) 程度変

化する。一方、候補地北側の崖縁部では大きな乱れは見られない。

風速10~30kt (5.1~15.4m/s) における現ヘリポートと新ヘリポート候補地との比較

- 1) 東寄りの風では、現ヘリポートと新ヘリポート候補地への進入に大きな差は見られない。むしろ、現ヘリポートへの進入の方が、北側にある丘の影響で、風、機体の運動共に大きく変化する。
- 2) 西寄りの風では、新ヘリポート候補地への進入の方が、風、機体の運動共に大きく変化する。特に高度800ft (244m) (対地高度130ft (39.6m)) 以下では風速が急減し、風向が逆転することもあるため、これに伴う対気速度の減少が顕著であり、その減少幅は上空の定常風の風速と同程度かそれ以上になる。

以上の結果から、西寄りの風で現在の新ヘリポート候補地に着陸した場合、地面付近で強い風の乱れに遭遇する可能性が高いことが明らかとなった。低速で飛行中に風の乱れによって対気速度が急激に減少した場合、メインロータの推力を減少させ高度損失を招く可能性があるため、特に注意が必要である。今回の飛行実験では、進入中も対気速度70kt (36.0m/s) を維持して着陸復行を行ったが、実際の離着陸の際にはより低速で飛行することになるため、風向・風速の急激な変化の影響がより大きくなることが予想される。

5. 地上風と上空風の比較

5.1 地上風計測の概要

実際の運航ではヘリポートで計測した地上風を基に飛行の可否等の判断を行う必要があるため、飛行実験と同

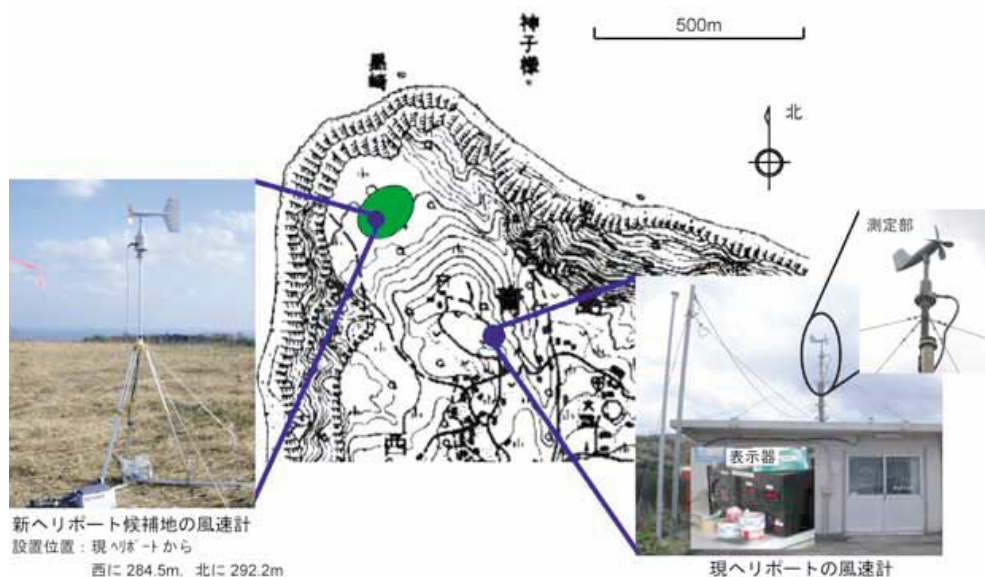


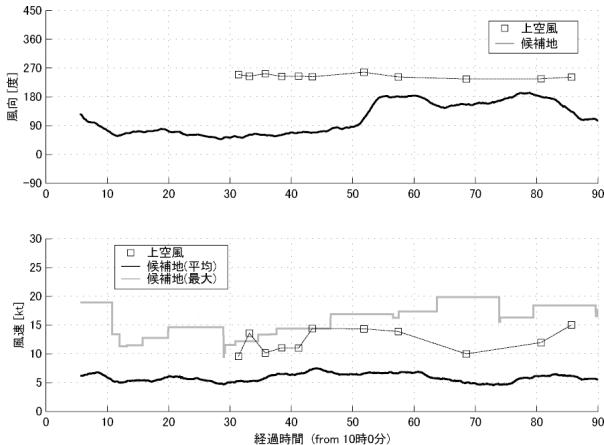
図5.1 現ヘリポート及び新ヘリポート候補地における地上風計測

時に現ヘリポート及び新ヘリポート候補地で地上風を計測し(図5.1), 上空風との比較を行った。現ヘリポートについては, 既設の風向・風速計のデジタル表示値(10分間の平均値と最大値が表示される)を5分毎にハンド・レコードした。新ヘリポート候補地には新たに風向・風速計を設置し, 4Hzのレートでデータを記録した。風向・風速計は, 周辺に障害物がなく候補地南側の斜面から比較的離れた候補地中央部に設置した。さらに, 新ヘリポ

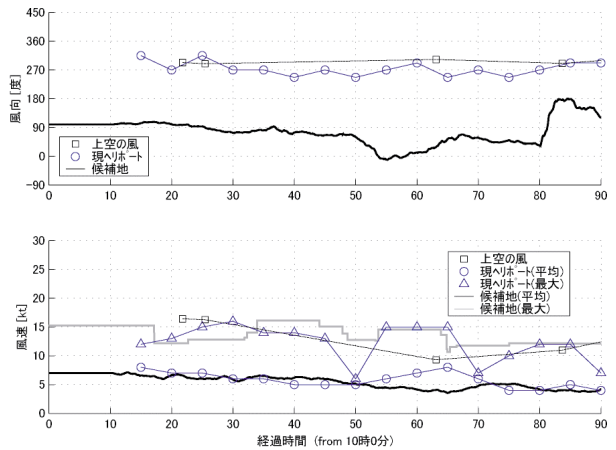
ート候補地において, 飛行の前後にバルーンを放球して上空の気流の様子を観測した。

5.2 地上風計測結果と上空風との比較

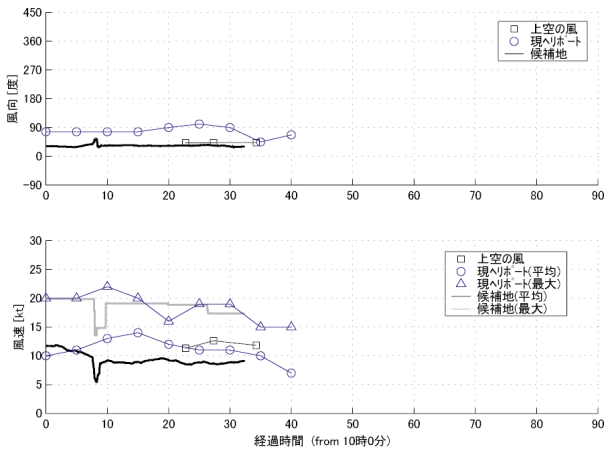
図5.2に, 現ヘリポート及び新ヘリポート候補地で計測した風を, 飛行実験により計測した上空風と共に示す。新ヘリポート候補地の風向・風速は10分間の平均値をとり, 風速の最大値は過去10分間の最大値として, 現



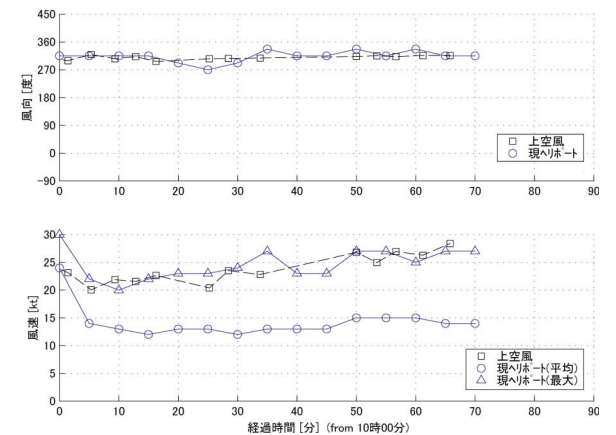
(a) 2月18日(フライト#1)



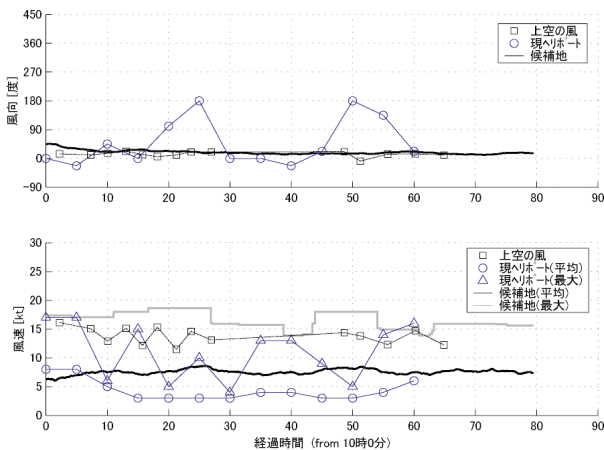
(d) 2月22日(フライト#4)



(b) 2月19日(フライト#2)



(e) 2月27日(フライト#5)



(c) 2月21日(フライト#3)

図5.2 地上風と上空風の比較

ヘリポートの表示値と合わせている。上空風は、本実験で飛行した青ヶ島北半分の空域では空間的に変化しないと仮定し、各飛行ケースで得られた風計測結果をケース毎に平均して算出している。ただし、地形の影響を排除するため、対地高度300ft (91.4m) 以上における風計測結果のみを平均対象とした。従って、対地高度300ft以上を飛行していない飛行ケースでは、上空風が算出されていない。以下に比較結果を示す。

現ヘリポート

- 北から東寄りの風では、風向・風速共に安定しない(図5.2(c))。現ヘリポート北側にある丘の影響と考えられる。西寄りの風では、風向・風速共に安定しており、風向は上空とよく一致している(図5.2(d),(e))。
- 上空の風速は、地上の最大風速と同程度で、平均風速の2倍程度である。

新ヘリポート候補地

- 西寄りの風では、風向が安定せず、上空と逆転している場合が多い(図5.2(a),(d))。東寄りの風では、風向・風速共に安定し、風向は上空とよく一致している(図5.2(b),(c))。
- 上空の風速は、地上の最大風速と同程度で、平均風速の2倍前後である。

ただし、新ヘリポート候補地の地表付近では、次節で述べるバルーンを用いた調査からも分かるように、観測時刻、場所によって風が大きく変化するため注意が必要である。

5.3 バルーンを用いた地表付近の風況調査

ヘリウムガスを充填した直径約35cmのバルーンを、飛行の前後に計約20回放球し、その挙動を目視による観察及びビデオ撮影によって記録した。特に西寄りの風の場合には候補地の西側崖縁部で強い乱れが観測され、南側斜面付近でも上昇流・下降流を伴う複雑な流れが確認された。同じ地点からバルーンを放球してもそのタイミングによってバルーンの挙動は大きく異なったため、地表付近の流れの様子が時間と共に大きく変化している様子も明らかとなった。以下に代表的な結果を示す。

図5.3(a) 南風

放球日時：2月18日14時29分

放球地点：風向・風速計設置点

風向・風速計の計測値：風向180度／風速約6～16 kt (3.1～8.2m/s)

放球後約30ft (9.1m) の高さまで上昇してから北へ流



(a) 南風 (2月18日 14時29分)



(b) 東風 (2月19日 13時41分)



(c) 西風 (2月22日 11時43分)

図5.3 バルーンの動き

された。崖北縁近くで下降した後、東に流され始めた。乱れた動きを見せながら東へ移動し、上昇し始めた。方位を北～北東に変えて流され続け、崖から離れた所で地面の陰に入り見えなくなった。

図 5.3(b) 東風

放球日時：2月19日13時41分

放球地点：新ヘリポート候補地中央部

風向・風速計の計測値：なし

地表近くを西北西に流された後、高度を上げながら西方向へ移動した。安定した挙動で徐々に上昇しながら崖西縁部を越えて流されて行った。崖から離れた所で下降を始め、海面近くまで下降した所で見えなくなった。

図 5.3(c) 西風

放球日時：2月22日11時43分

放球地点：風向・風速計設置点

風向・風速計の計測値：風向90度／風速約10kt (5.1 m/s) (風向・風速計の設置点では東風)

放球後、徐々に上昇しながら西へ移動した。候補地西側の上空で下降しながらさらに西に移動し、崖西縁付近で急上昇した。上空で移動方向を東に反転し、放球地点の真上を通過後南に移動を始めた。山の斜面付近で乱れた挙動を示した後、斜面に沿うように下降した。斜面を下りてからもしばらく北に向かって移動していたが、急

上昇をして再び山側に向かって流された。山の斜面沿いに東に移動して島の東側に流されて行った。

5.4 比較結果のまとめ

新ヘリポート候補地は、東寄りの風では風向・風速共に安定し、風向は上空とよく一致している。しかし、西寄りの風では、候補地全域で現ヘリポート以上に風が大きく乱れ、風向が上空と逆転している場合もあり、地上風から上空風を推定することは困難である。新ヘリポートを運用する際には、候補地以外にも地上の風向・風速計を設置する等の対策により、西寄りの風でも上空風を推定可能とすることが必要と考えられる。

6. 飛行実験と数値シミュレーション解析の比較

6.1 数値シミュレーション解析の概要

数値シミュレーション解析は、気象協会が開発した「微気象モデル」を用いて行った。微気象モデルの流れ場の解法は表6.1に示すように通常のCFDと同様であるが、日射や放射等の熱的影響及び雨や霧の影響等の自然界に起こりうる事象を表現できるように工夫されている。今回の解析の計算領域及び計算格子の設定を表6.2に、風向・風速条件の一覧を表6.3に、境界条件を表6.4にまとめる。ヘリコプタの飛行安全への影響を調べる観点から、30kt (15.4m/s) 以上の強風時のみを解析の対象とした。水平方向の計算領域は、航空法が定めるヘリ

表 6.1 微気象モデルの概要

項 目		概 要
微気象 モデル	支配方程式	3次元ナビエ・ストークス方程式
	乱流モデル	k-εモデル
	離散化	有限体積法
	対流項の差分スキーム	QUICKスキーム (3次精度)

表 6.2 数値シミュレーション解析の計算領域 及び 計算格子設定

項 目	内 容
対象領域	2km × 2km (水平) × 2km (鉛直)
計算格子数	69 × 69 (水平) × 30 (鉛直)
計算格子間隔	10 ~ 50m

表 6.3 数値シミュレーション解析の計算条件

風向 [度]	60 (北東)	240 (南西)	310 (北西)
風速 [kt]	30, 40	30, 40	30, 40, 50

表 6.4 数値シミュレーション解析の境界条件

項目	内容
風向	一定値
風速	鉛直プロファイルを高度のべき乗則で規定 (べき指数 1/7) 高度 200m 以上は一定値
乱流エネルギー	鉛直プロファイルを規定 (強さは風速により変化) 高度 200m 以上は一定値

ポートの進入区域を含むように、候補地を中心として 2km 四方の領域に設定し、鉛直方向の計算領域は、約 300m ある計算領域内の標高差の影響が領域上端に及ばないように、2km に設定した。計算の都合上、定常風が計算格子の境界に垂直に流入することが望ましいため、風向 60, 240 度の場合と 310 度の場合で地形の向きを変えて 2 つの計算領域を用いている。風向 60, 240 度の場合の計算格子の例を図 6.1 に示す。地形の変化が大きいため、座標系として地形に沿った境界適合曲線座標系を使用している。格子間隔は不等間隔とし、新ヘリポート候補地付近では間隔を小さくしているが、崖縁部の傾斜が急なために間隔を小さくし過ぎると格子の正規性が保たれず計算が不安定になる恐れがあり、最小間隔は 10m とした。地形は 50m メッシュの国土数値情報を元に再現されているが、新ヘリポート候補地付近は詳細地形図を読みとって 50m 以下の細かい地形も再現している。

乱流モデルには一般的な $k-\epsilon$ モデルを用いている (文献 10~14)。解析結果では、計算格子点毎の平均風速と乱流エネルギーが算出される。乱流エネルギー κ は次式で定義される。

$$\kappa = \frac{1}{2}(\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) \tag{6.1}$$

ここで $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ は、それぞれ 3 軸方向の風速の平均風速からの標準偏差を表している。ただし、今回実施した数値解析では乱れの等方性を仮定しているため、

$$\sigma_u = \sigma_v = \sigma_w \tag{6.2}$$

となる。

6.2 全般的な風況の比較

図 6.2 は北西風及び北東風 30kt (15.4m/s) の条件で計算された候補地周辺の地上 30m における乱流エネルギーの分布を示したものである。北西風では風上側の崖縁部で比較的強い乱流エネルギーが生じているのに対し、北東風では乱流エネルギーが全般に小さくなっており、西寄りの風で風の乱れが強くなる飛行実験結果と同じ傾向を示している。図 6.3 は北西風 30kt における乱流エネルギーの分布を地上 30, 50, 70m で比較したものである。

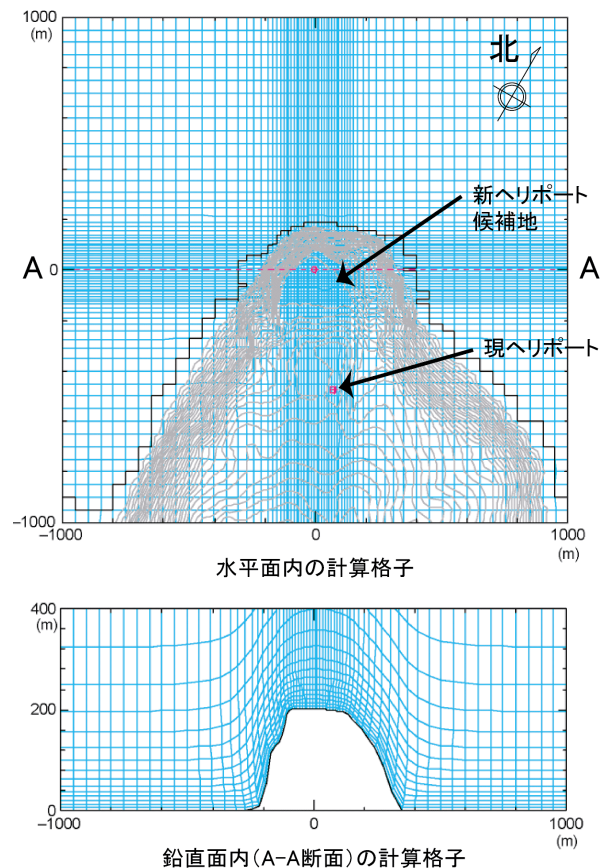
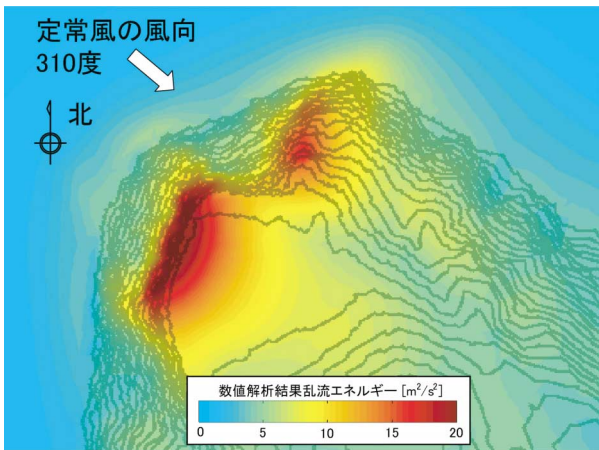


図 6.1 計算格子の例 (北東, 南西風計算用)

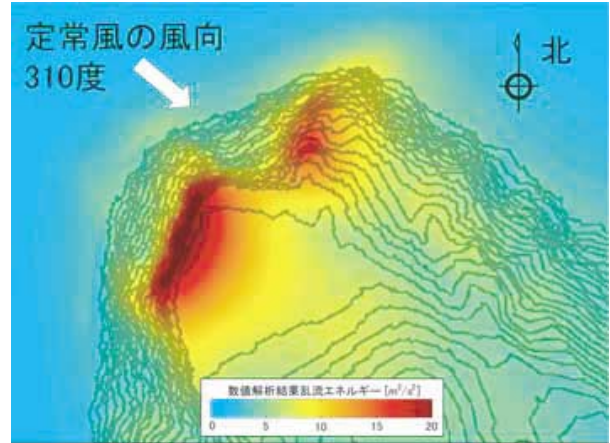
地上 30m において風上側の崖縁部に生じる強い乱流エネルギーは高度が上がるにつれて急激に弱まっており、地上 70m では風の乱れが殆ど見られない。これらの結果も飛行実験結果と一致している。

図 6.4 は水平面内及び上下方向の風速分布を示したものである。飛行実験で計測された風上側の崖縁部での風速増加及び上昇風が再現されており、また数値解析で算出された風速の増加量 (5~10kt (2.6~5.1m/s) 程度) 及び上昇風の強さ (最大 20kt (10.3m/s) 程度) も飛行実験結果と近い値を示している。

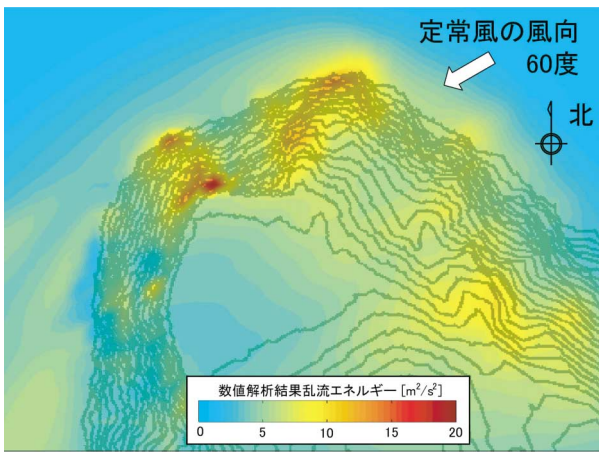
以上のように、新ヘリポート候補地周辺の全般的な風況に関しては、数値解析結果は飛行実験結果とよく一致している。



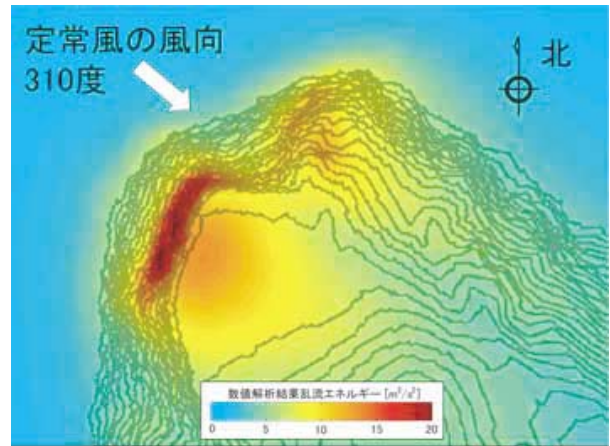
(a) 北西風30kt



(a) 地上30m

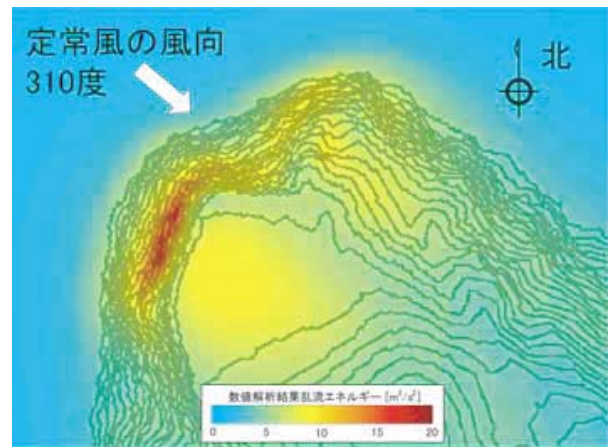


(b) 北東風30kt



(b) 地上50m

図 6.2 地上 30m における乱流エネルギーの分布



(c) 地上70m

図 6.3 北西風 30kt における乱流エネルギーの分布

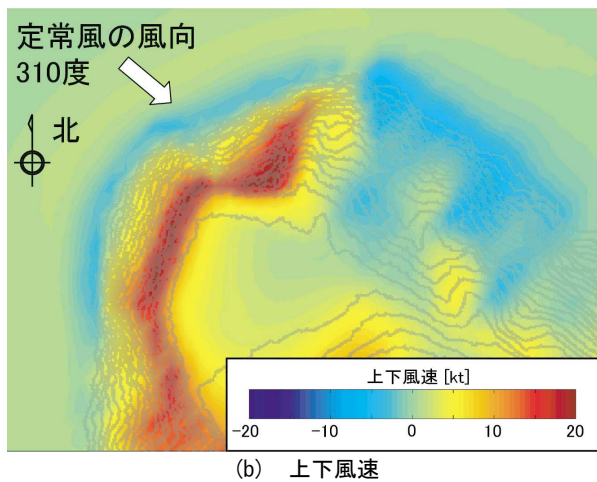
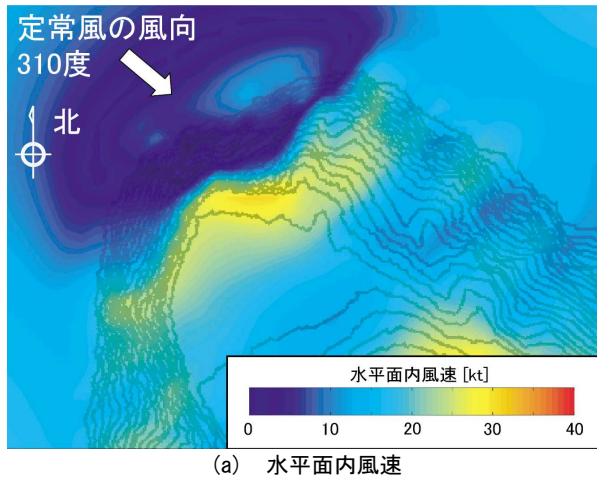


図 6.4 北西風 30kt における地上 30m の風速の分布

6.3 候補地上空の局所的な風況の比較

次に、飛行実験で西寄りの風の際に顕著に見られた新ヘリポート候補地上空の高度 800ft (244m) (対地高度 130ft (39.6m)) 以下での乱れの強さ、分布について数値解析結果との比較を行う。数値解析は飛行実験に先立って実施されたため、飛行実験の際の定常風の風向・風速と厳密に合わせる事ができない。ここでは数値解析における計算条件と最も近い定常風の条件で行われたフライト #5 の飛行パターン C1, C2, 高度 750ft (229m) のケースを比較の対象とした。両者の風向・風速の条件の違いを表 6.5 にまとめる。特に数値解析は風速 30kt (15.4m/s) の条件で行われたが、飛行実験の際に遭遇した風は 20kt (10.3m/s) 強であった。

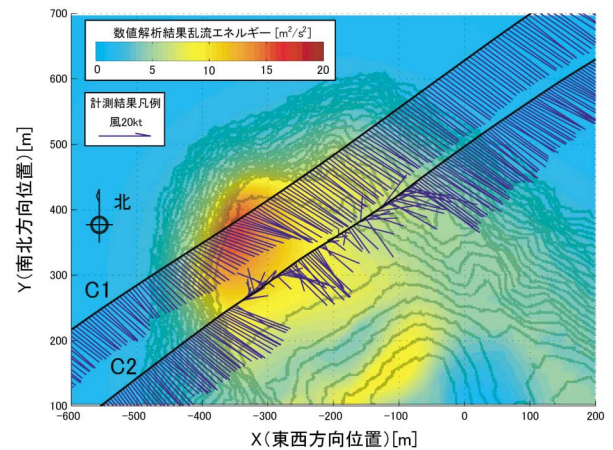


図 6.5 北西風 30kt における候補地上空 130ft の乱流エネルギーの水平面内分布と風計測結果

乱れの分布の比較

図 6.5 は、飛行実験の際の平均飛行高度であった新ヘリポート候補地上空高度 800ft (対地高度 130ft) において数値解析によって算出された乱流エネルギーの水平面内分布図に、飛行実験で計測された風ベクトルを重ねたものである。数値解析結果では、風の乱れが候補地北西の崖縁部で最も強いのにに対し、飛行実験結果では、候補地直上で最も強くなっている。

平均風速及び乱れの強さの比較

次に、数値解析と飛行実験で平均風速及び乱れの強さについて定量的な比較を試みる。飛行実験では移動しながら計測を行っているため、風速の変動が時間的な変化によるものか空間的な分布によるものか厳密に区別することは不可能であり、また飛行実験で計測されるのは風速の瞬間値であるのに対して、数値解析結果は各点における風速と乱流エネルギーの時間平均値であるため、直接的な比較は困難である。ここではまず、数値解析から求められる乱流エネルギーから風速の変動幅の確率分布を考慮して風速の時系列データとして比較し、次に飛行実験結果から乱流エネルギーを推算して乱れの空間分布の比較を試みる。

また、先に述べたように、両者の間では特に定常風の風速が異なっているため、ここでは数値解析結果の定常風の風速 30kt (15.4m/s) が飛行実験中の平均風速 20kt (10.3m/s) に一致するように、解析結果の風速を全て

表 6.5 飛行実験と数値シミュレーションの条件の比較

	数値シミュレーション解析	飛行実験 フライト #5
定常風向 [度]	310	297 ~ 307
定常風速 [kt]	30	20 ~ 23

2/3 倍して比較を行う。風速 30kt と 20kt ではレイノルズ数の違い等によって流れの性状が異なる可能性があるため、あらかじめその影響の程度を調べるために風速 50kt (25.7m/s) の解析結果を風速を 3/5 倍して 30kt の解析結果と比較した結果を図 6.6 に示す。水平面内、上下方向とも風速の分布は両者の間で殆ど差は見られないが、乱流エネルギーの分布では 50kt の結果から換算した

方が全般に乱流エネルギーが小さくなっている。従って、風速 30kt の解析結果から風速 20kt の結果に換算した場合にも乱流エネルギーが異なる可能性が考えられるが、ここでは定常風の風速を一致させることを優先してこのような条件で比較を行った。

図 6.7 は、飛行実験結果が飛行パターン C1, C2 それぞれ同じ経路を続けて 2 回ずつ飛行した計 4 ケースの計測

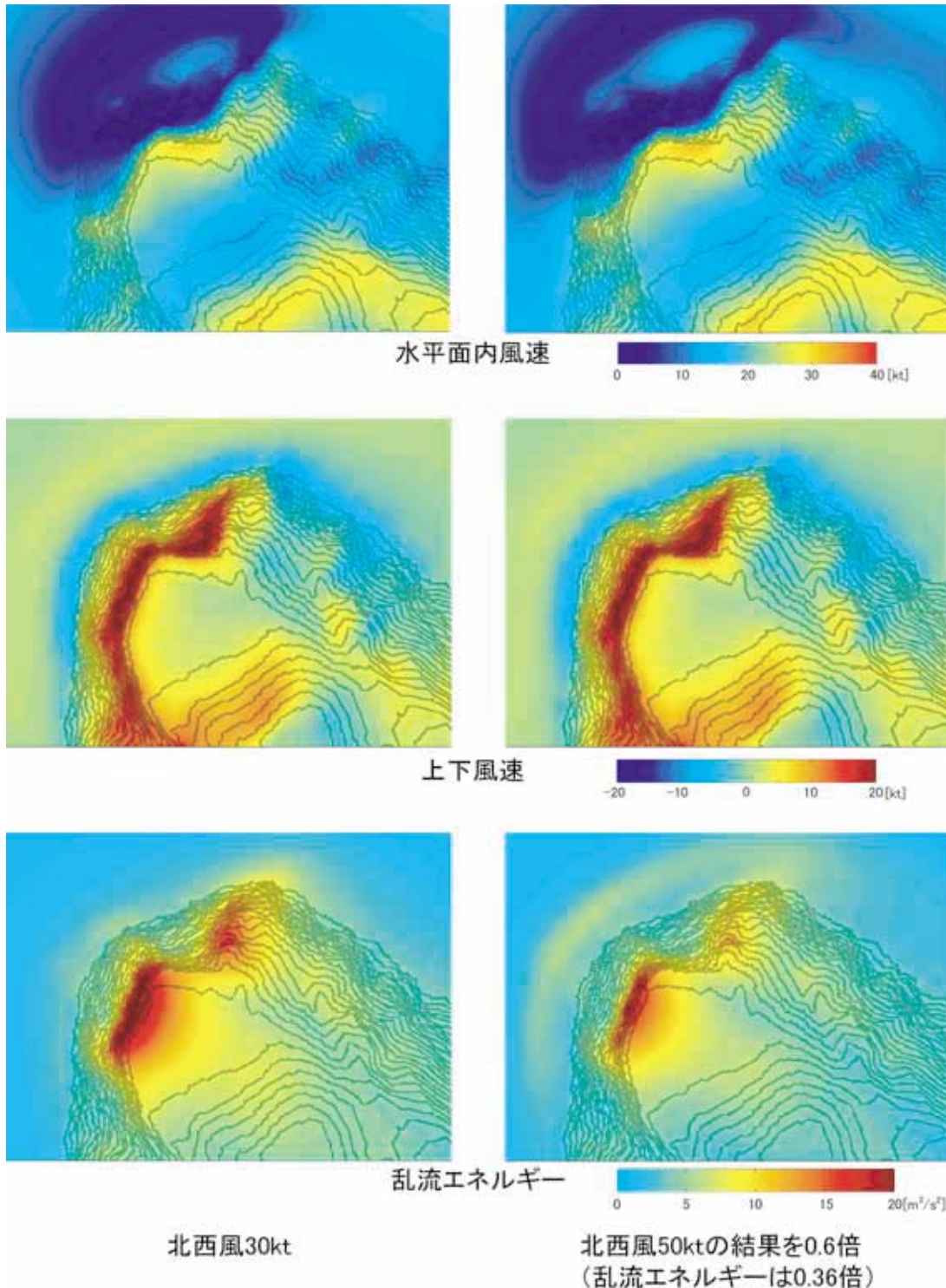
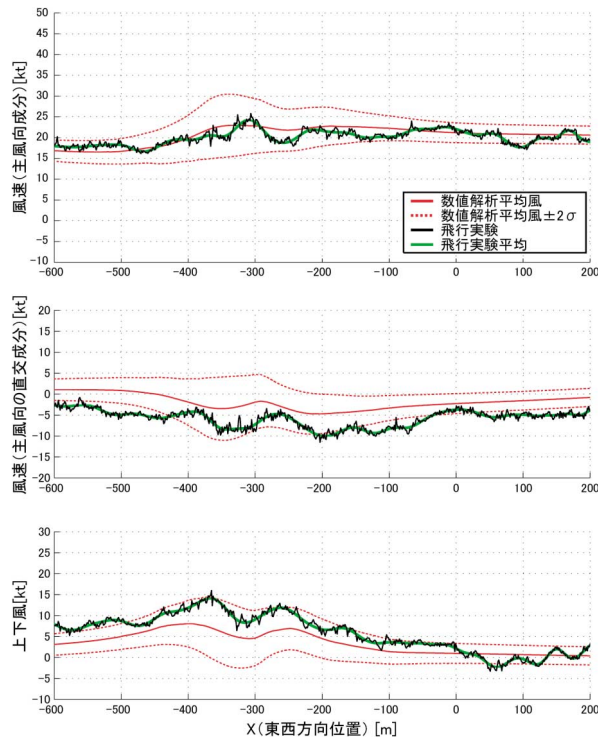
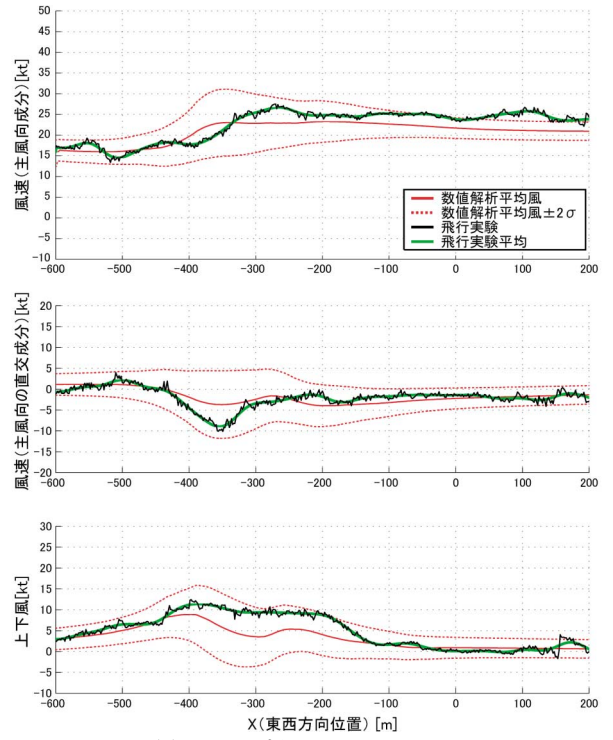


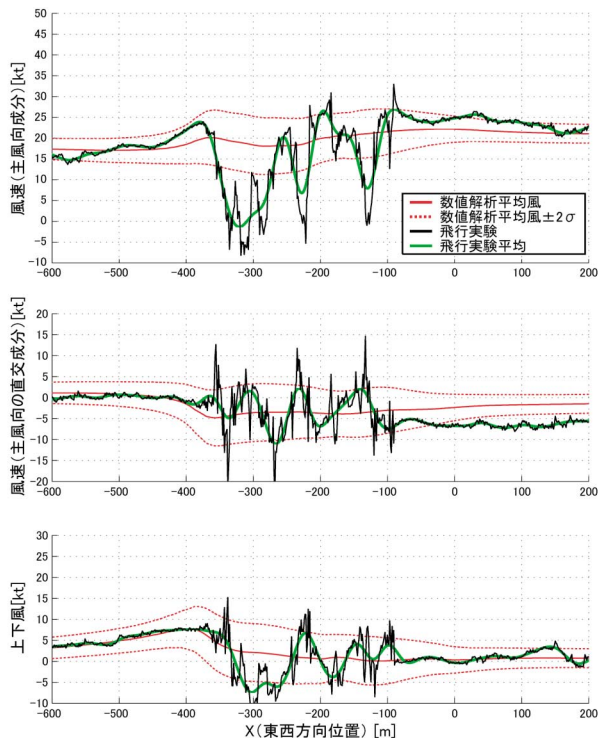
図 6.6 北西風 50kt の解析結果の風速を 3/5 倍した結果と北西風 30kt の解析結果の比較 (地上 30m)



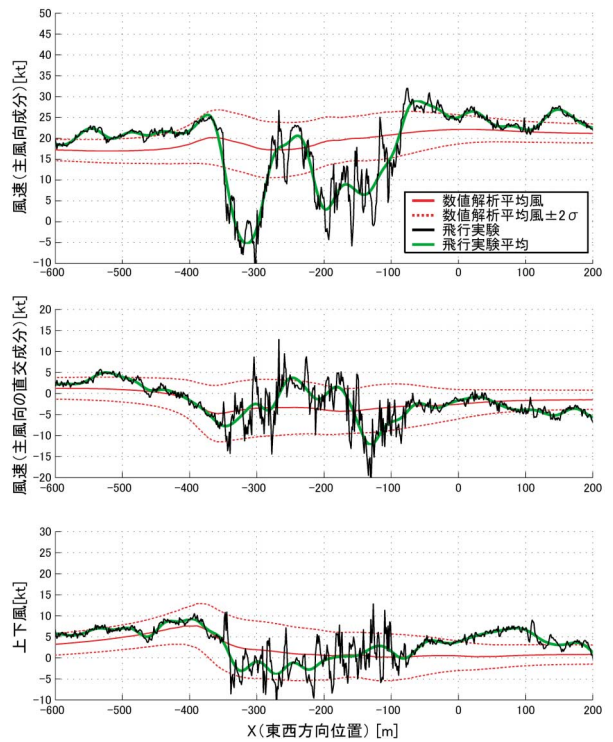
(a) 飛行パターンC1 ケース#1



(b) 飛行パターンC1 ケース#2



(c) 飛行パターンC2 ケース#1



(d) 飛行パターンC2 ケース#2

図 6.7 平均風速と風速の変動幅の比較

結果とそれぞれの結果にローパスフィルタを通して求めた平均値を示したもので、数値解析結果が各ケースで実際に飛行した経路に沿って格子点のデータを補間して求めた平均風速、及び乱流エネルギーから乱れの等方性を仮定して算出した $\pm 2\sigma$ （正規分布を仮定すれば95%確率）の変動幅を示したものである。飛行実験結果の平均値算出に用いたローパスフィルタのカットオフ周波数は、フィルタリング後の平均風の空間的な分解能が水平面内50m前後となるように、実験中の対地速度が50～70kt(25～35m/s)程度であることを考慮し、2秒(0.5Hz)と定めた。候補地北側の崖縁部を通過する飛行パターンC1(図(a),(b))に関しては、平均風速の変化は比較的よく一致しているものの、後にも述べるように数値解析では飛行実験に比べて風速の変動幅(乱れの強さ)がより大きくなっている。候補地直上を通過する飛行パターンC2(図(c),(d))に関しては、主風向の直角方向成分と上下風については風速の変動幅は比較的一致しているが、主風向成分については、飛行実験結果は数値解析結果の $\pm 2\sigma$ の範囲を超えて変動している。飛行実験結果は風速の時間的な変化によるものか空間的な分布によるものか明確には区別することはできないが、2つのケースの平均値がほぼ同じパターンで変動していることか

ら、空間的な分布による、即ち平均風速自体が候補地上空で減少していると考えることが妥当と思われる。数値解析結果ではこのような傾向が再現されていない。

図6.8は、飛行パターンC1,C2の結果について、図6.7に示した各2ケースの平均値のさらに平均を飛行実験の際の各基準経路沿いの平均風速と仮定し、前後1秒の計2秒間(平均風速の算出に用いたローパスフィルタのカットオフ周波数0.5Hzに対応)の風速の変化から各軸における風速の標準偏差と乱流エネルギーを時系列で求めた結果を示したものである。なお、標準偏差を算出する時間を1～5秒の間で変化させても、算出結果がほとんど変化しないことは別途確認している。数値解析結果の風速の標準偏差は、乱流エネルギーから乱れの等方性を仮定して算出した。飛行パターンC1(図(a))に関しては、数値解析では飛行実験に比べて乱れの強さが過大に評価されている。一方、飛行パターンC2(図(b))に関しては、前に述べたように乱れが最も強くなる場所については両者の間でやや差異が見られるものの、乱流エネルギーの大きさはほぼ同程度となっている。

数値解析結果と飛行実験結果の直接的な比較は困難であり、ここではいくつかの仮定を導入して両者の比較を試みたが、少なくとも定性的には両者の間で一致する部

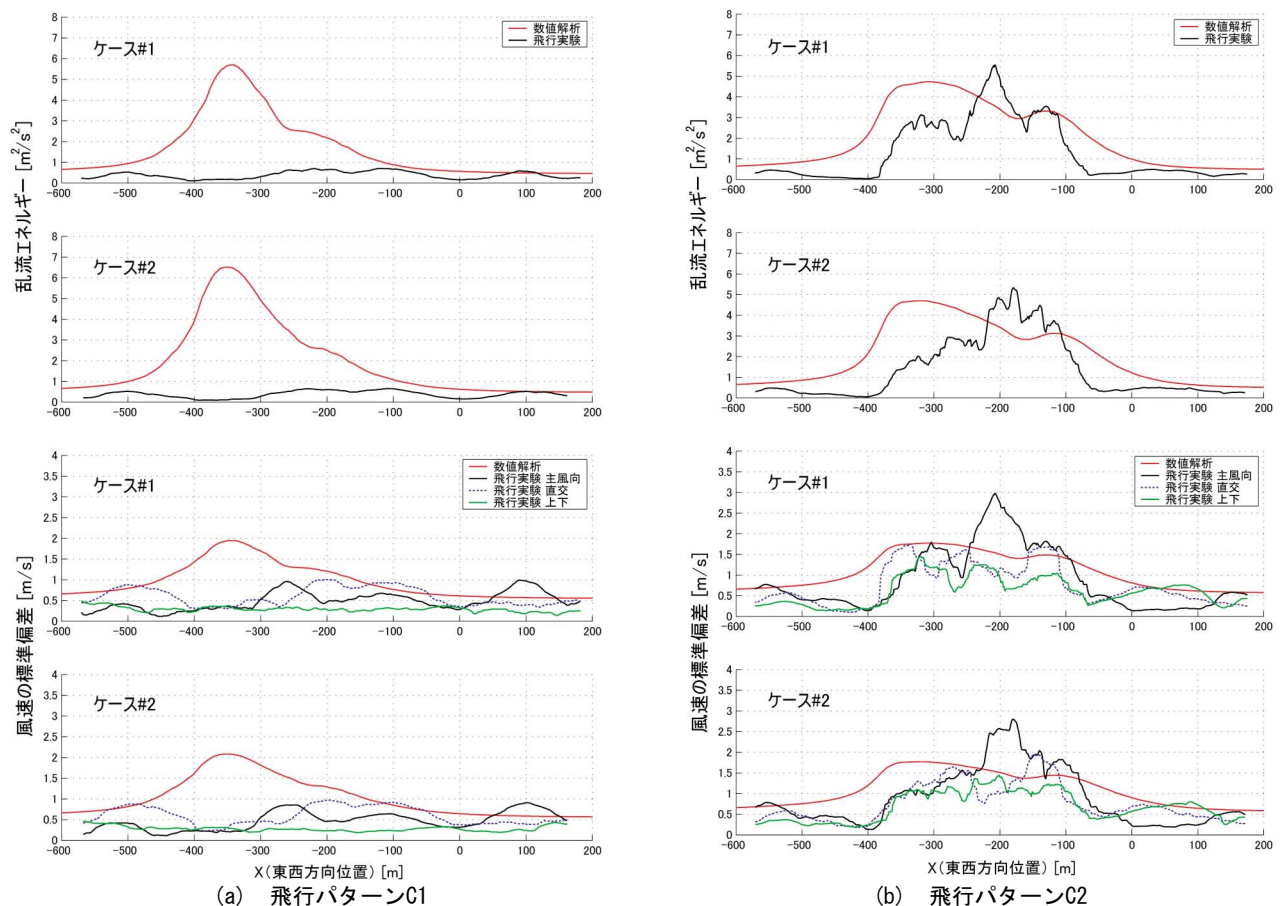


図 6.8 乱流エネルギーと風速の標準偏差の比較

分と差の生じる部分を明らかにすることができたと考えられる。

6.4 海上における風速の鉛直プロファイル

数値解析結果と飛行実験結果の差の要因の一つとして、定常風の境界条件の違いが挙げられる。先に述べたように両者の間で定常風の風向・風速が厳密には合わされていないほか、数値解析では風速の鉛直プロファイルが規定され時間的には変化しないと仮定されている。今回の数値解析では、表 6.4 に示すように風速の鉛直プロファイルを次式のように高度のべき乗で近似した。

$$U = U_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^k \tag{6.3}$$

ここで U, U_0 はそれぞれ高度 H, H_0 における風速である。指数 k は地表面の粗さ等によって変化するが、ここでは $1/7$ という値を用いている。

飛行実験において、フライト#4の八丈島～青ヶ島間の往路及び復路の海上でそれぞれ高度 2000～50ft (610～15.2m) の間を約 10 分間かけて緩降下・上昇して風速プロファイルの計測を行った結果を図 6.9 に示す。計 4 回の計測結果はいずれも風向・風速共に比較的安定しており、再現性があるが、最大 5kt (2.6m/s) 程度の風速の変動も見られる。数値解析で仮定されたプロファイルとの比較では、特に低高度において、高度が下がっても近似式で表されるほど風速が減少していない。数値解析と同じく高度 200m における風速を基準として、計測結果

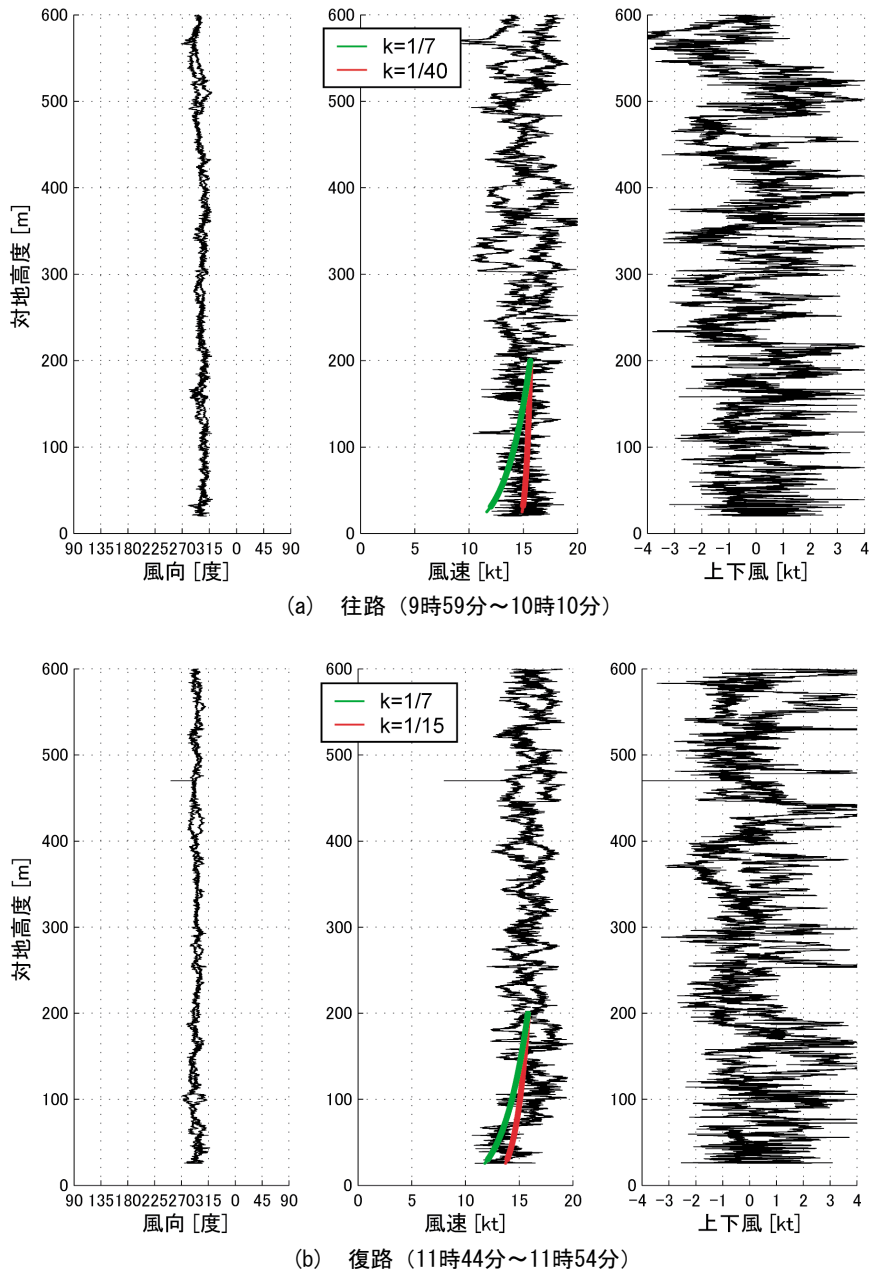


図 6.9 海上における風速の鉛直プロファイル (2月22日 フライト#4)

の最小自乗近似により算出した指数 k の値は往路が約1/40、復路が約1/15となり、いずれも数値解析で仮定した1/7より小さい値となっている。

海上での風速プロファイルがここに示したような低高度まで計測可能なことも、ヘリコプタを用いた風計測の利点の一つとして挙げられる。

6.5 比較結果のまとめ

数値シミュレーション解析は、新ヘリポート候補地周辺の全般的な風況を再現しており、乱れが発生しやすい条件を特定する用途に有用である。しかし、特に西寄りの風における候補地上空の低高度における局所的な風況に関しては、乱れの分布、平均風速等について、飛行実験結果との相違が見られた。数値解析で用いられた風速の鉛直プロファイル等の条件が飛行実験の際の実状と異なっていることも要因の一つとして考えられるが、一方で今回の数値解析で用いた $k-\epsilon$ 乱流モデルの限界を示している可能性も考えられる。

図6.10は、境界層流中の立方体周辺の流れ場について風洞実験と標準 $k-\epsilon$ モデルによる数値解析結果を比較したものである（文献14から引用）。標準 $k-\epsilon$ モデルの結果は、風洞実験で見られる立方体上面の平均風速の低下を再現しておらず、また風上側の角付近の乱流エネルギーを過大に評価しており、今回の飛行実験との比較結果と同様の傾向が見られる。今回の場合にも、新ヘリポート候補地が急峻な崖に囲まれ気流の剥離域の中にあるため、 $k-\epsilon$ モデルでは候補地上空の局所的な風況を再現できなかった可能性が考えられる。現在、気象協会では

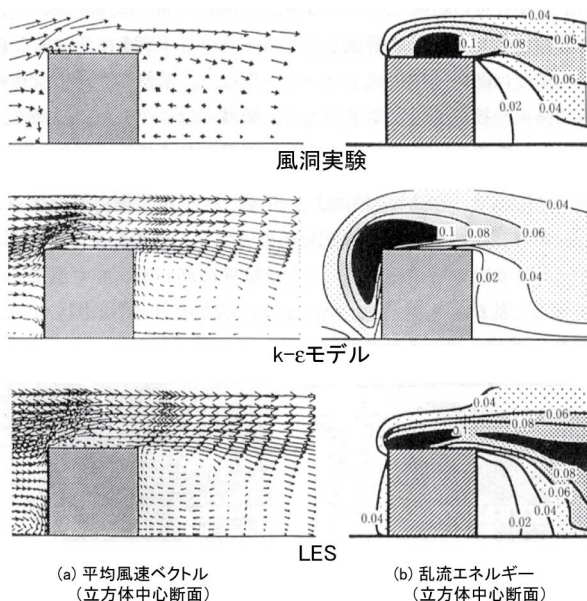


図6.10 立方体周辺の流れの風洞実験と数値解析結果の比較

(文献14「乱流解析」(東京大学出版会, 1995)より引用)

LES (Large Eddy Simulation) 乱流モデルを使った数値解析手法の開発を進めている。図6.10にはLESによる解析結果(同じく文献14から引用)も示されており、 $k-\epsilon$ モデルでは再現できなかった立方体上面の平均風速の低下が再現できているほか、乱流エネルギーの分布も風洞実験結果により近付いている。今後、LESを用いた数値解析により、今回のような気流の剥離域内の流れ場の再現性も高まることが期待される。

7. おわりに

流れの数値シミュレーション解析(CFD)は広範囲の風況を様々な条件に対して計算可能である点で極めて有用である。ただし、風速や乱流エネルギー等の計算結果を統計的に示すことはできるが、航空機の飛行安全に対して影響の大きいのは風速の時間変化であり、現状のCFDではそれを直接的に再現することが難しい。全体の風況を把握して風の乱れが発生しやすい条件を特定し、その条件下における瞬間的な気象場を飛行実験によって計測するという今回の手法により、風の影響をより現実的に評価することが可能となった。また、航空機、特にヘリコプタによる風計測は、計測点の空間的自由度が高いため、地形性乱気流の3次元数値解析モデルの検証手段として有用であることが実証された。

青ヶ島新ヘリポート候補地周辺の風計測飛行実験では、以下の事項が明らかとなった。

- 西寄りの風では候補地全域で地上風が大きく乱れ、風向が上空と逆転している場合もあり、ヘリコプタが着陸する際に対気速度が減少して高度損失を招く可能性がある。
- 西寄りの風では地上風と上空風の相関が低いため、実際の運用に際してヘリポートからの報告によって風の状況を正確に把握することが困難である。風速計の設置場所の適地を調査する必要がある。
- 東寄りの風では、候補地上空の風の乱れは比較的小さく、現ヘリポートと同程度以下である。地上風も安定しており、上空風は地上風から推定可能である。

また、パイロットのコメントによれば、今回の飛行実験で遭遇した北西風30kt(15.4m/s)程度の条件のもとで新ヘリポート候補地での離着陸を安全に行うためには、パイロットがヘリポート周辺の風の乱れについてあらかじめ十分な知識を持ち、また実際に飛行を行って慣熟することが重要である。

今後の予定と課題

新ヘリポート候補地では特に梅雨時の視程改善による就航率の向上が期待されているが、現ヘリポートに比べ

て特に冬季には強風の影響による就航率の低下も懸念される。今後、両者の得失を年間を通じて統計的に調査し、期待される就航率の向上が達成可能か検討が行われる予定である。

また、現在の候補地の中でさらに具体的にどの地点に新ヘリポートを設置すべきかを検討する必要がある。今回の風況調査の結果から、候補地の中でも北東寄りの区域は比較的風の乱れが小さいことが示されている。今後の飛行試験では、ヘリポート設置場所を具体的に想定し、実離着陸を含む運用評価を実施してさまざまな風の条件における影響をより詳細に検証することが望ましい。

謝 辞

今回の飛行実験は、東京都青ヶ島村からの協力依頼に基づいて実施された。飛行実験にあたっては、青ヶ島村役場の方々を始め、東京都八丈支庁、東京都八丈島空港事務所等の関係各位に多大なるご協力を頂いた。また、数値シミュレーション解析は青ヶ島村による新ヘリポート設置可否調査の一環として実施されたものであり、解析結果の公表を許諾頂いたのは同村のご厚意によるものである。ここで各位に厚く御礼申し上げる。

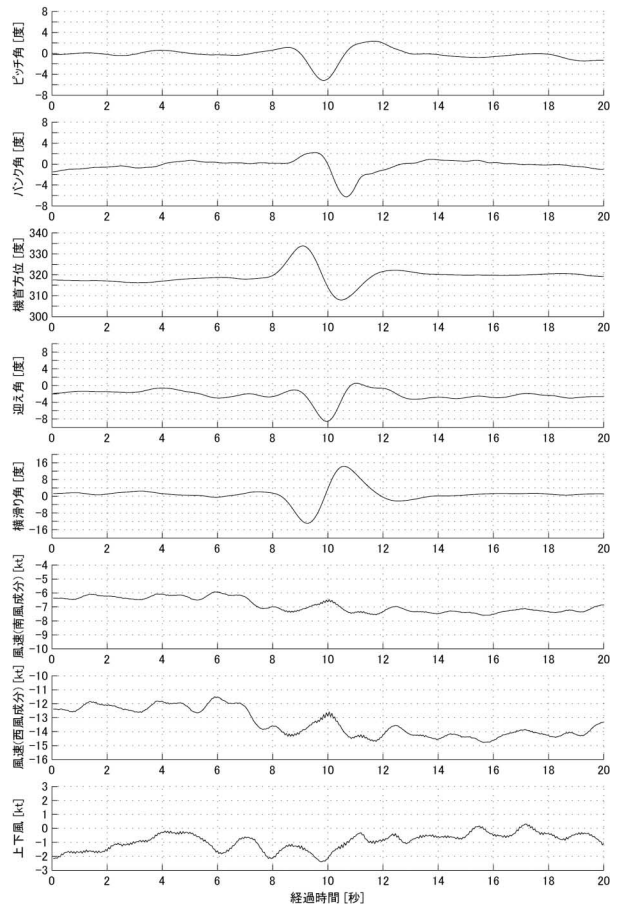
文 献

- 1) 又吉直樹, 宮澤與和, 石川和敏, 「実験用航空機ドローンによる地形性乱気流の計測」, NAL TR-1445, 2002.
- 2) 大島空港航空機安全運航検討委員会, 「平成8年度大島空港航空機安全運航検討調査報告書」, 1996.
- 3) 大島空港航空機安全運航検討委員会, 「平成9年度大島空港航空機安全運航検討調査報告書」, 1997.
- 4) 大島空港航空機安全運航(補足調査)検討委員会, 「平成9年度大島空港航空機安全運航検討調査(その2)報告書」, 1998.
- 5) 奥野善則, 又吉直樹, 照井祐之, 若色薫, 穂積弘毅, 井之口浜木, 船引浩平, 「実験用ヘリコプタ MuPAL-ε の開発」, NAL TM-764, 2002.
- 6) 矢澤健司, 井之口浜木, 稲垣敏治, 中村勝, 照井祐之, 鎌田幸男, 白井正孝, 田丸卓, 井上元, 町田敏暢, S. Makshutov, 「飛行データ取得用超音波風速計の改良と航空機による温室効果ガスフラックスの測定法開発」, 航空宇宙技術研究所報告 TR-1444, 2002.
- 7) 井之口浜木, 「航空機用超音波式対気速度センサ」, 特開 2001-278196, 2001.
- 8) 又吉直樹, 穂積弘毅, 井之口浜木, 奥野善則, 「実験用ヘリコプタ搭載エアデータセンサの位置誤差計測飛行試験」, NAL TM-779, 2003.

- 9) 又吉直樹, 奥野善則, 井之口浜木, 「実験用ヘリコプタ搭載DGPSの測位精度等評価飛行実験」, NAL TR-1460, 2003.
- 10) F. H. Harlow and J. E. Welch, 'Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow with Free Surface', Phys. Fluids, Vol.8, 1965.
- 11) M. Rosenfeld, D. Kwak and M. Vinokur, 'A Fractional Step Solution Method for the Unsteady Incompressible Navier-Stokes Equations in Generalized Coordinate Systems', J. Comput. Phys., Vol.94, 1991.
- 12) 井上実, 馬場信弘, 北川和弘, 中川貴裕, 「自由表面適合座標系を用いた有限体積法による非線形水波の計算」, 関西造船協会誌, 第217号, 1992.
- 13) B. E. Launder and D. B. Spalding, 'The Numerical Computation of Turbulent Flow', Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol.3, 1974.
- 14) 数値流体力学編集委員会, 「数値流体力学シリーズ 3 乱流解析」, 東京大学出版会, 1995.

付録 機体が激しく運動した際の風計測精度

本文第2章で述べた通り、機体が準定常的な運動をしている際の風計測精度は約2ktであるが、風の乱れ等に



図A1 機体が激しく運動した際の風計測結果

よって機体が激しく運動した場合には、機体周りの流れあるいは計測システムの時間遅れ等の影響によって、さらに誤差が生じる可能性がある。この機体運動の影響を調べるために、比較的風が安定し一定と考えられる海上で、機体の姿勢変化を意図的に励起することにより迎え角、横滑り角を変動させて、その間の風計測結果を姿勢変化前後の定常飛行時の結果と比較した。比較結果を図 A1 に示す。上から機体姿勢角（ピッチ角、バンク角、機

首方位）、迎え角、横滑り角及び計測された風の3成分（水平面内の南風、西風成分及び上下風）を示している。機体運動の影響を大きくするため、姿勢はできるだけ素早く変化させた（周期約4秒）。姿勢変化に伴い、約-6～0度の迎え角変動及び約±15度の横滑り角変動が生じており、風計測結果にも姿勢変化とほぼ同期した±1～2kt程度の変動が生じている。この結果から、機体運動の影響による風計測誤差は±1～2kt程度と推定される。