

CHicK-2000 Project

人力飛行のペダリングに関する考察



CHicK-2000 プロジェクトチーム
“アクティブギャルズ”
吉川俊明((株)浅沼組)
名古屋大学 Aircraft
佐多 宏太、大谷和弥



CHick-2000 Project

“ 脈動 ” の影響



(1) プロペラ設計法

現在の設計法 ; Adkins and Liebeck の方法

誘導速度場の最適化

“ 脈動 ” が考慮されていない !

“ 脈動 ” により後流渦面が伸縮 ! !

“ 脈動 ” を考慮しないプロペラ設計は、

計算精度に疑問

ペダリングスキルが左右

プロペラ効率 ; 5% ~ 10% 低下

(2) 動力伝達効率

チェーン速度やプロペラシャフトの回転速度の変化によるロス

(3) PIO の発生原因

ペダリングの “ 脈動 ”

機体の固有振動数
“ フゴイドモード ”

縦の振動を制御できない



“Active Gals”

CHick-2000 Project

脈動の例

人力飛行機

回転中のプロペラの後に立って

プロペラ後流 (脈動流) を感じる

プロペラが通過した時 と そうでない時

プロペラ後流渦面が伸縮

人力飛行機 ; プロペラを介して空気に仕事

ペダリングの応答差

慣性モーメントの違い

自転車 ; ワンウェイクラッチの働きをする
フリーホイールを用いた車輪を介
して地面に仕事

自転車

自転車に乗っていて

ペダルを押すと加速、それ以外の時減速

と言うような脈動は感じない

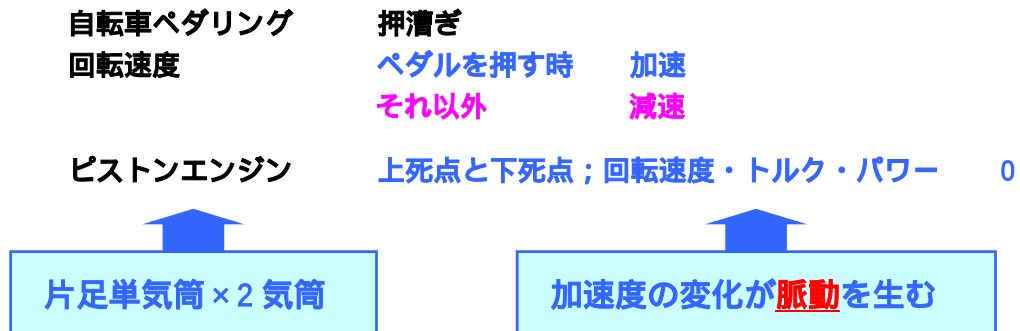


“Active Gals”

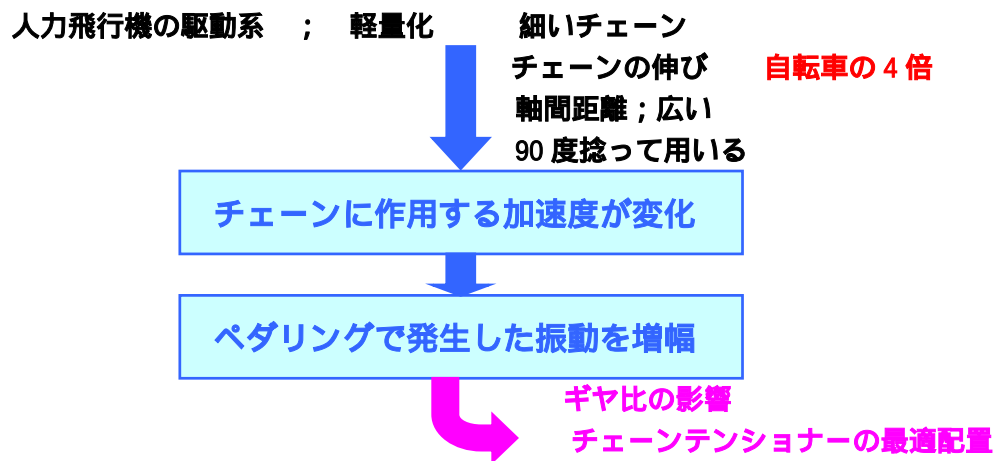
CHick-2000 Project

脈動の原因

(1) ペダリングのスキル

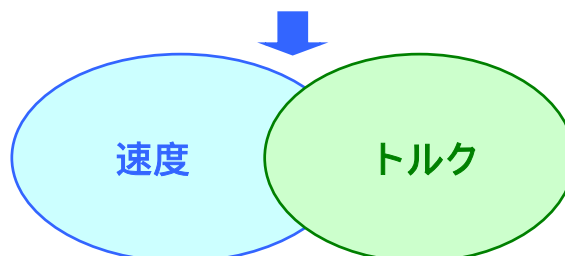


(2) チェーンの振動



脈動の成分

片足単気筒の 2 気筒エンジン



“Active Gals”

CHick-2000 Project

脈動の影響

影響成分

チェーンの振動と張力の変化による伝達効率の低下

速度・トルク

プロペラ効率の低下

速度

プロペラの回転速度の脈動が、プロペラの後流渦面を伸縮

機体の設計

- ・ プロペラシャフトの捻りモーメントを脈動

速度・トルク

プロペラシャフトとブレードの設計

- ・ 機体の振動
- ・ リカンベントスタイルの機首のヨーイング
- ・ アップライトスタイルの機首のローリング

速度・トルク

コクピットフレームや主翼取り付け部の設計

人体エンジンのエネルギー効率

持続時間を著しく減少

パイロットが早期に疲労



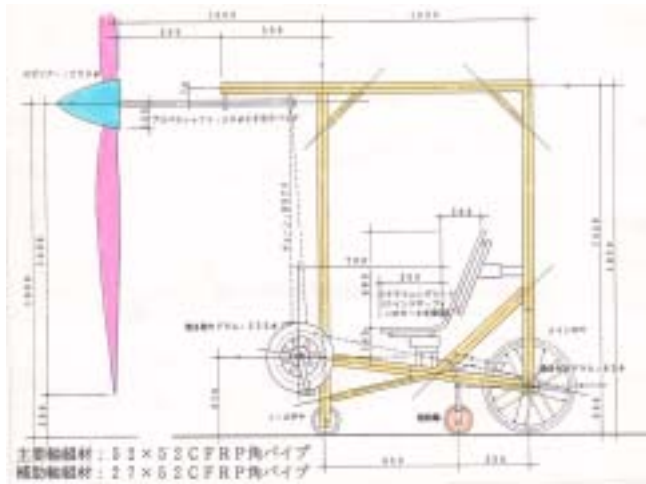
フライト時間が短くなる



“Active Gals”

CHick-2000 Project

測定方法



測定フレーム側面図



プッシュペダリングの測



ロータリーペダリングの測定



測定装置



"Active Gals"

CHiCK-2000 Project

プッシュペダリング

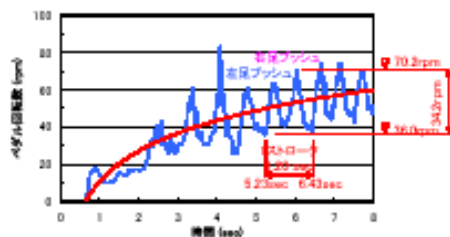


図-5.1 回転数

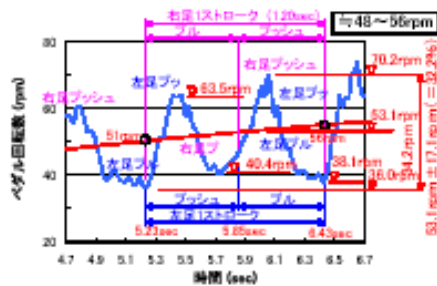


図-5.2 回転数

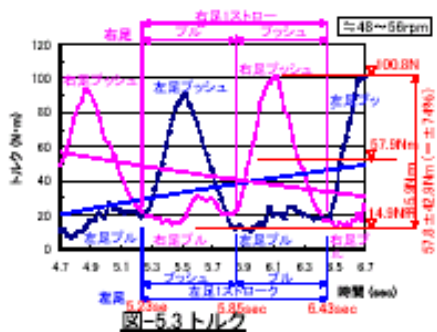


図-5.3 トルク

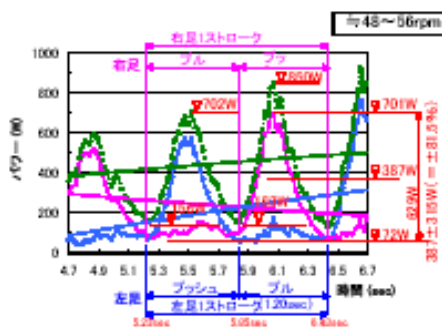


図-5.4 パワー

ロータリーペダリング

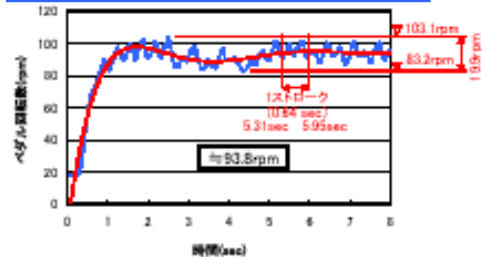


図-6.1 回転数

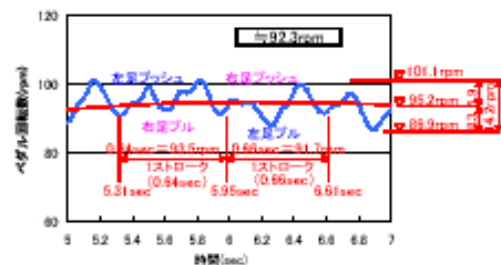


図-6.2 回転数

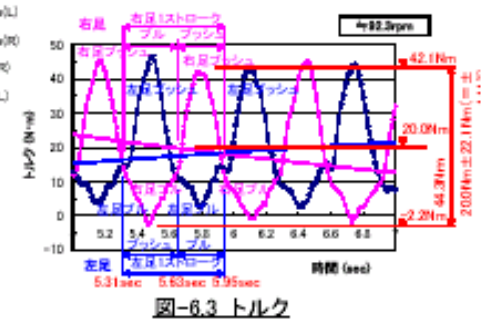


図-6.3 トルク

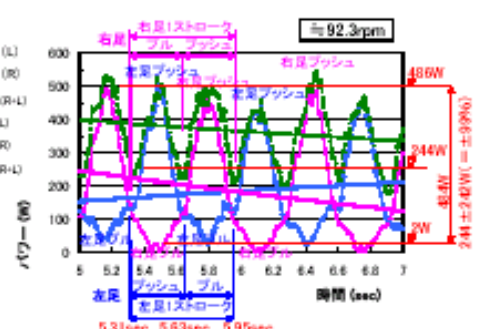


図-6.4 パワー



“Active Gals”

CHick-2000 Project

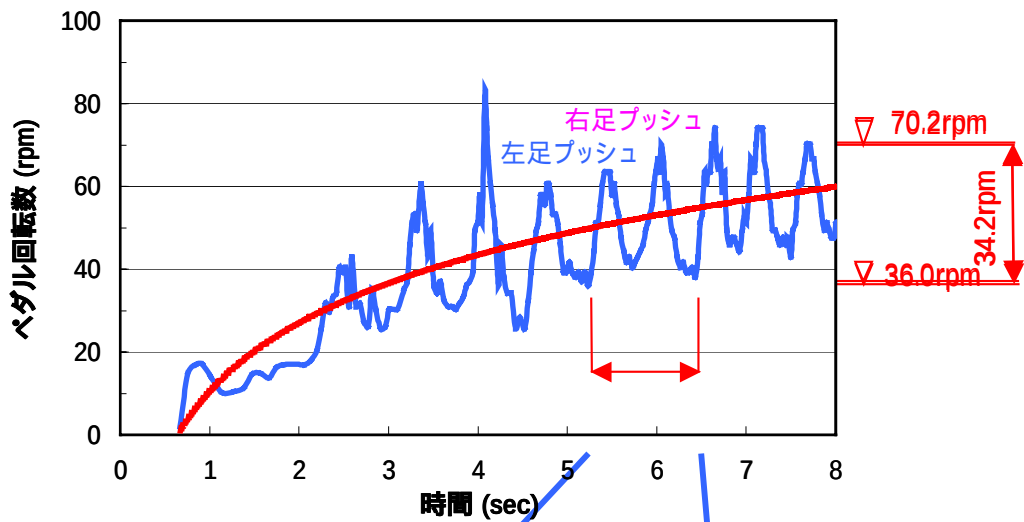


図-5.1 回転数

プッシュペダリング

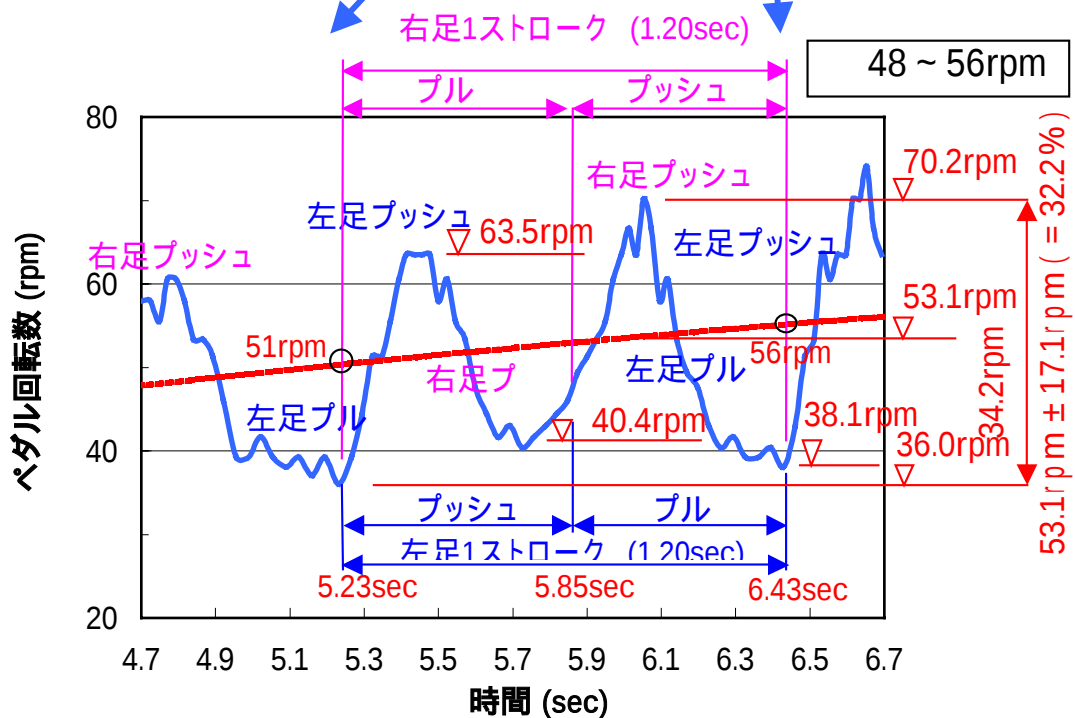
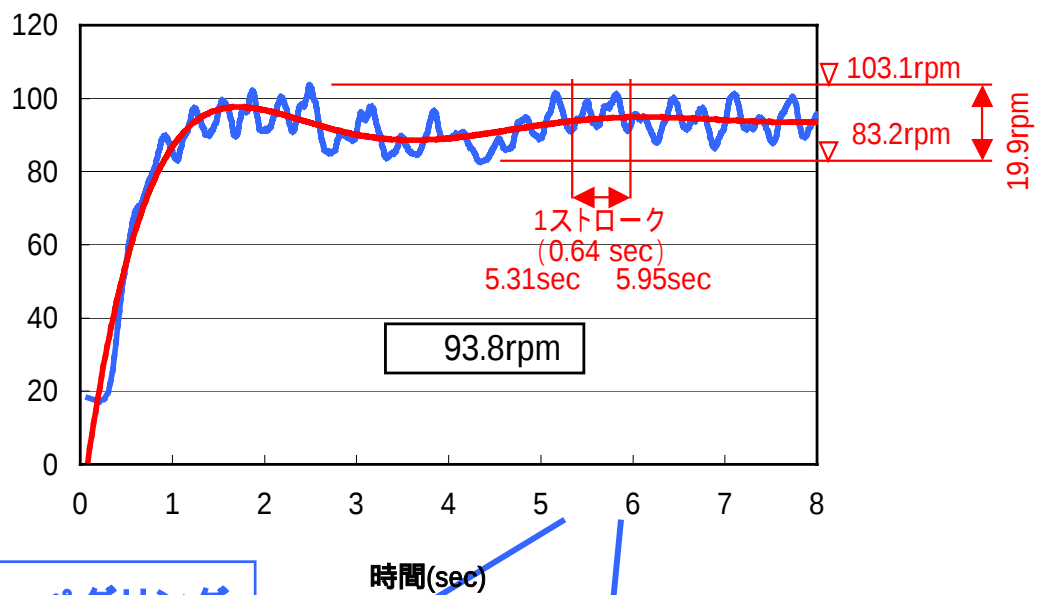


図-5.2 回転数



“Active Gals”

CHick-2000 Project



ロータリーペダリング

図-6.1 回転数

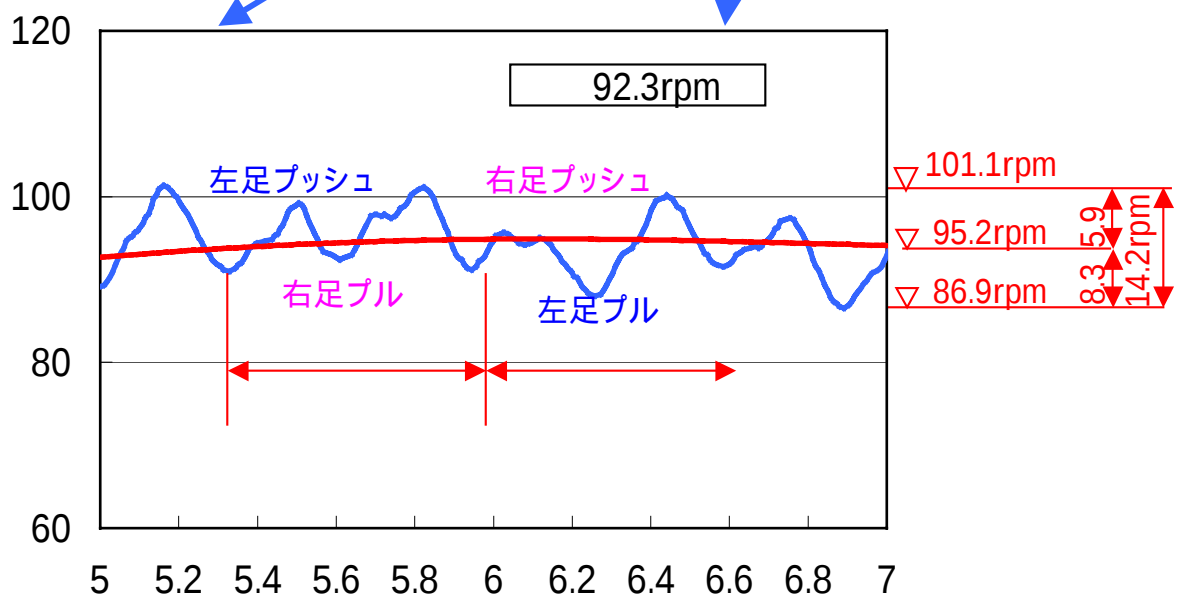


図-6.2 回転数



“Active Gals”

CHick-2000 Project

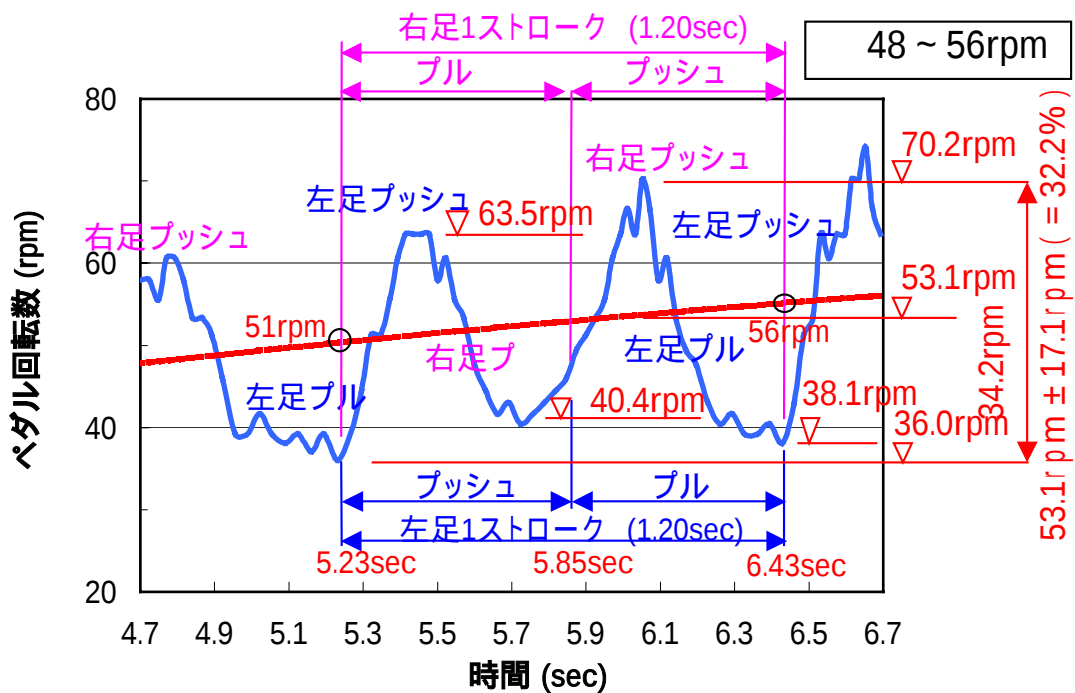


図-5.2 回転数

プッシュペダリング

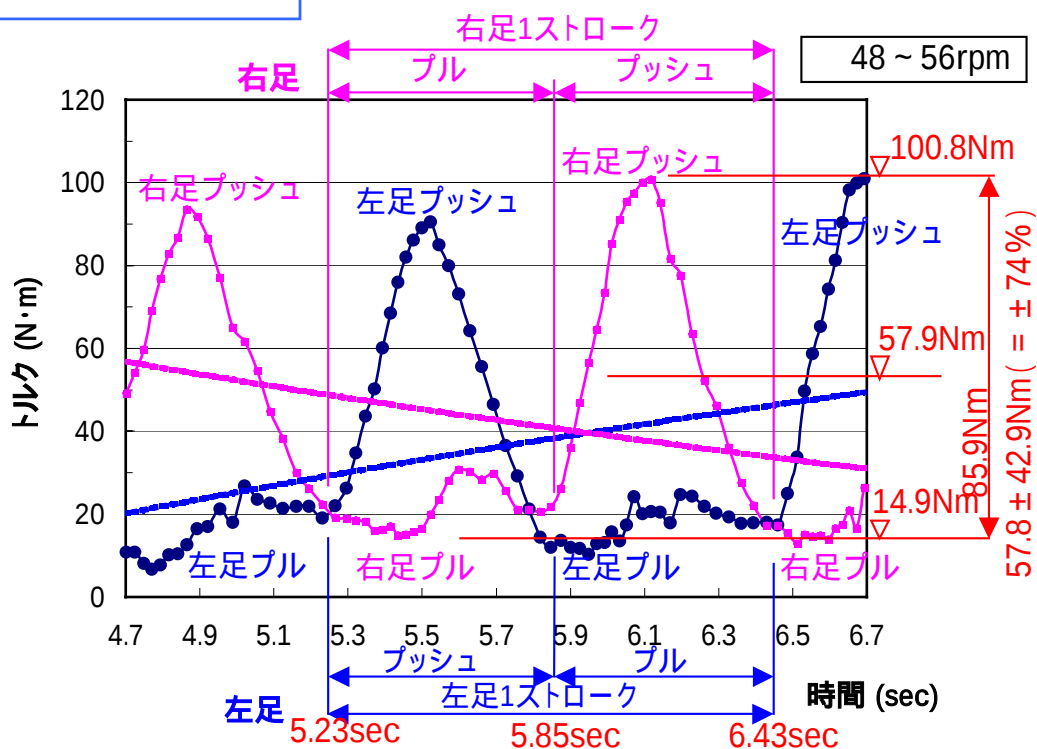


図-5.3 トルク



“Active Gals”

CHick-2000 Project

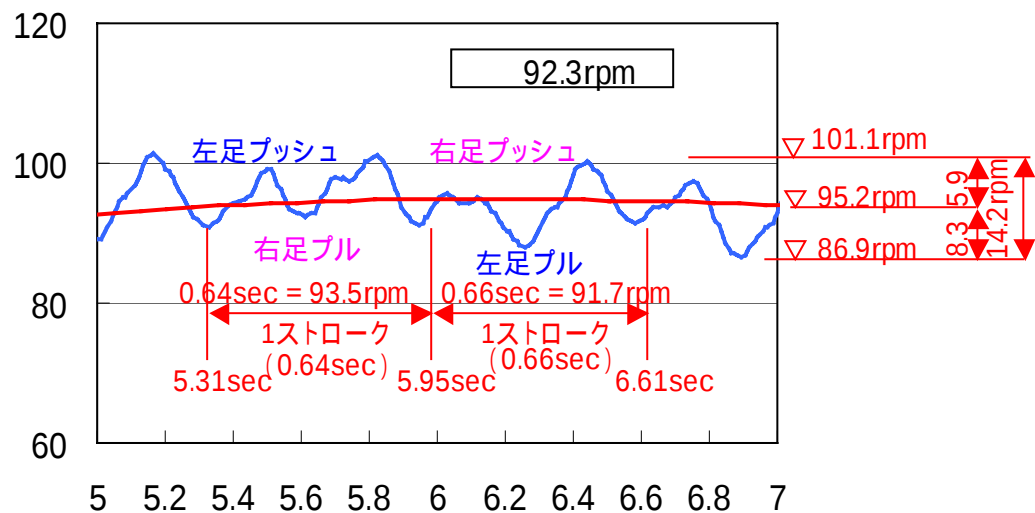


図-6.2 回転数

ロータリーペダリング

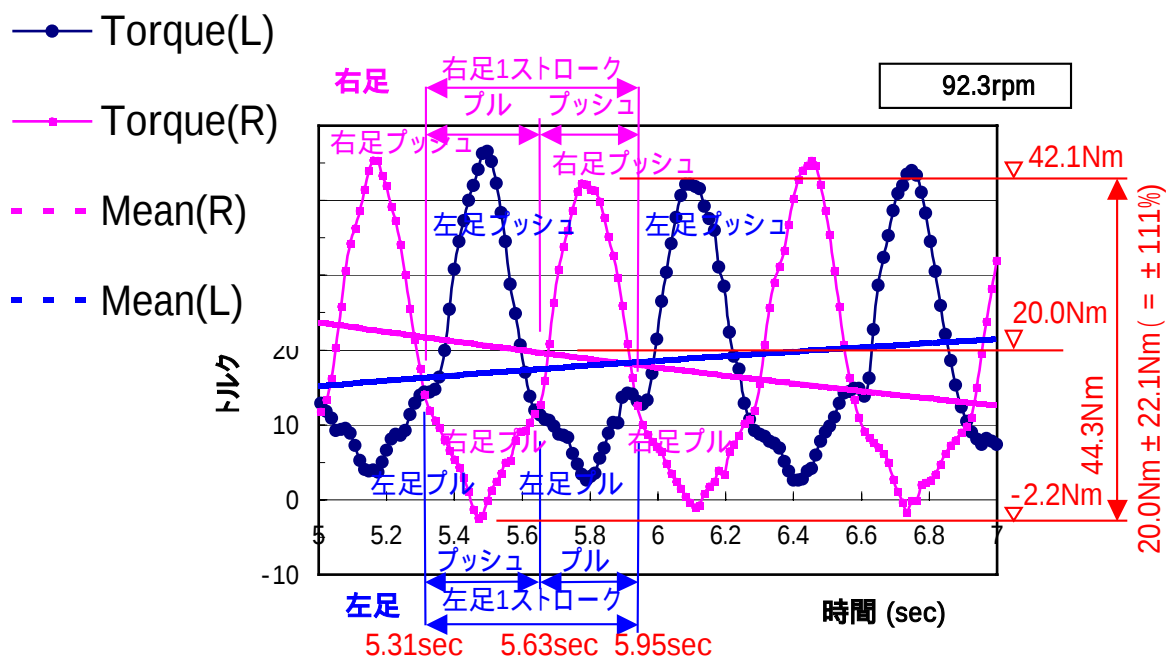


図-6.3 トルク



“Active Gals”

CHicK-2000 Project

プッシュペダリング

48 ~ 56rpm

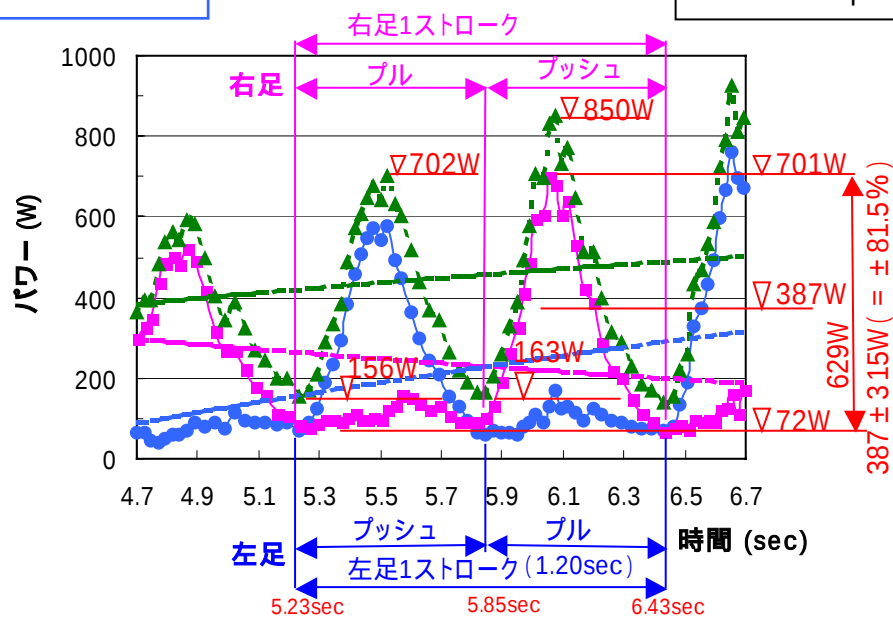


図-5.4 パワー

ロータリーペダリング

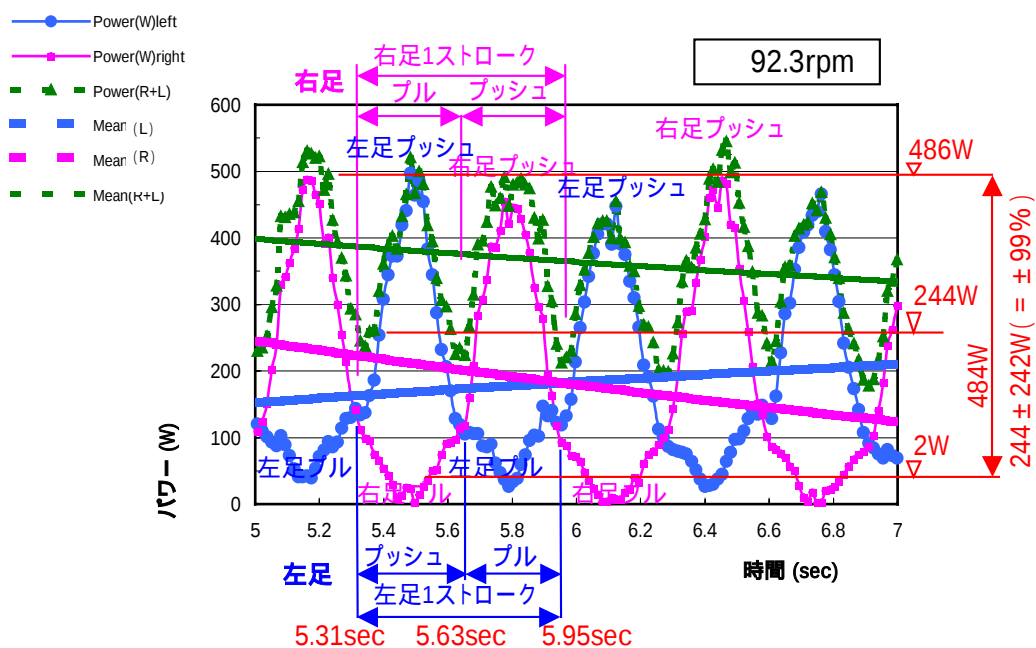


図-6.4 パワー



“Active Gals”

CHick-2000 Project

まとめ

駆動系の設計

回転数の脈動は、ロータリーペダリングの場合、 $\pm 10\%$ 前後で大きな安全率を見込む必要はない。

トルクとパワーの脈動は、瞬間的に最大値が平均値の $2 \sim 2.5$ 倍に達し、**注意が必要**。

クルージングパワーの 3 倍に対して安全率を考慮する必要がある。

【具体例】 CHick-2000 のクルージングパワー 160W

自力離陸～上昇時の瞬間最大パワーは 1000W に達する。

この時、**伝達効率**は 60% に低下

実際にプロペラに導入されるパワー 600W

プロペラ設計；プロペラブレードの撓みはクルージング時で **スパンの $1.5 \sim 2\%$**

離陸の瞬間；**5%近い撓み**

大きな効率低下

ペダリングスキル

ロータリーペダリングでは、回転数は平滑化され、脈動のサインカーブは観察し難い。

- ・引き足を使って掻き回すように漕ぐ**トレーニングの効果**
- ・トルクとパワーには**サインカーブが観察**

【滑らかな原因】

- ・ロータリーペダリングのスキル
- ・チェーンのテンショナー、バネ効果、
- ・プロペラのフライホイール効果

人体エンジンの効率では、スキルの違いによって、同一出力パワーでも **ピークパワーには 6 割もの開き**が生じる。

効率良いペダリングスキル（ロータリーペダリング）が重要



“Active Gals”

CHick-2000 Project

問題点

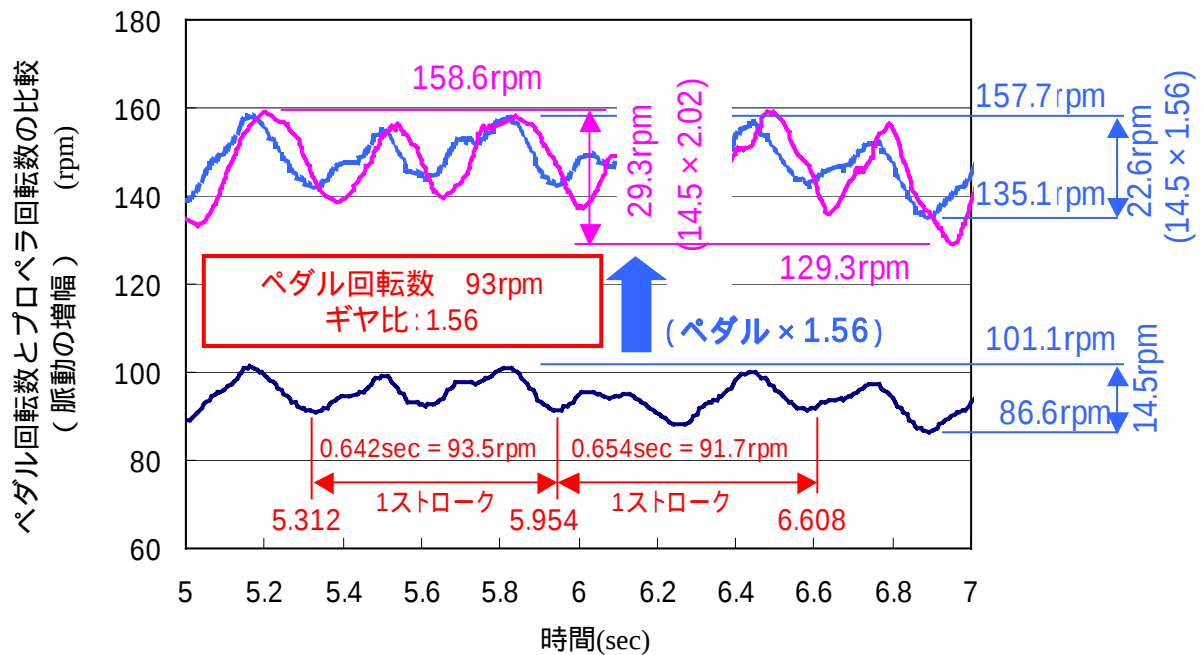
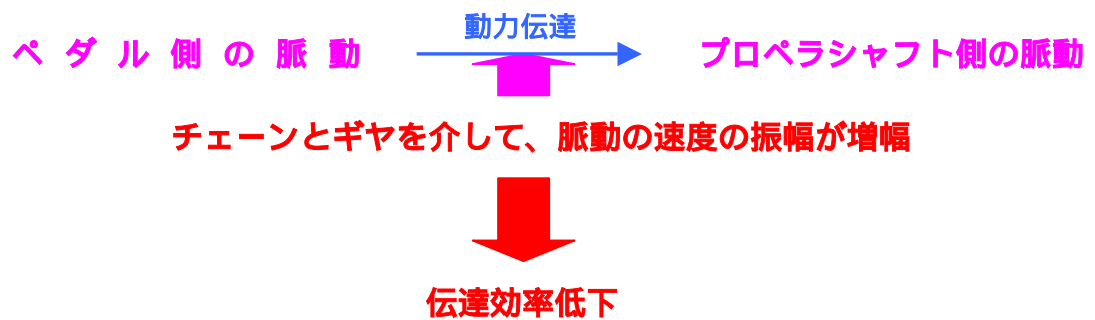


図-7 回転数の比較

脈動の増幅



[増幅原因]

- ・チェーンに作用する遠心力や駆動系に働く加速度の変化が、回転速度の振幅を増幅
- ・ギヤ比の影響
ペダル側スプロケットが1サイクルの脈動を履歴する間に、プロペラ側スプロケットは、1サイクルの脈動を履歴しながら1.56回転する
- ・チェーンテンショナーの影響、プロペラに作用する慣性力



“Active Gals”

CHick-2000 Project

脈動の対策

トレーニングの注意点

エルゴメーターによるトレーニング

体力向上に効果的

しかし

ペダリングスキルの向上に要注意

- ・エルゴメーターは、機能上フライホイール効果が有るものが多い
- ・ペダリングの脈動による回転速度の増減を平滑化する制御効果を持つ
- ・人力飛行機のプロペラは、軽量で、回転速度が低い

殆どフライホイール効果を期待できない

エルゴメーターの持続時間をそのままフライト時間に適用できない

人体エンジンのエネルギー効率の問題

持続時間が数分以下のアネロビックパワーの出力が支配的な場合、

プロペラペダリングの持続時間は半減

プロペラを実装したコクピットを使って、

掻き回すように漕ぐ

ロータリーペダリングのスキル習得のトレーニングが重要



“Active Gals”

CHick-2000 Project

フライホイール効果を狙った人力飛行機

クレームスピード賞の最終獲得機 “マスキュレアー2” 号



- ・ペダル側に大きなフライホイールを兼ねたスプロケット
- ・プロペラ回転数；190 回転



まとめ

自転車ペダリングの脈動；速度成分とトルク成分が重複した複合脈動

改善に寄与する効果 に フライホイール効果

駆動系設計の留意点

- (1) 回転数の上昇による脈動の制御効果
- (2) 脈動による空力的なプロペラ効率の低下
- (3) チェーンとチェーンテンショナーの影響
- (4) プロペラ重量と回転数の最適な妥協点



“Active Gals”