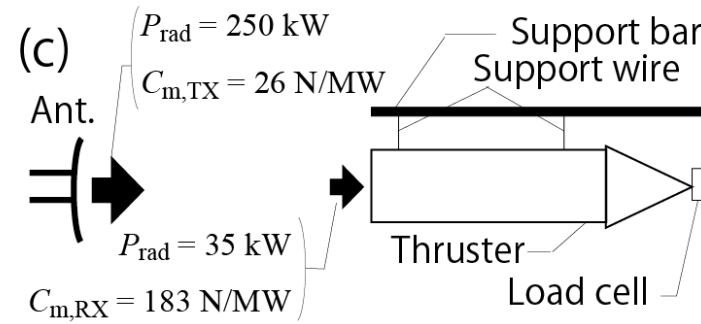
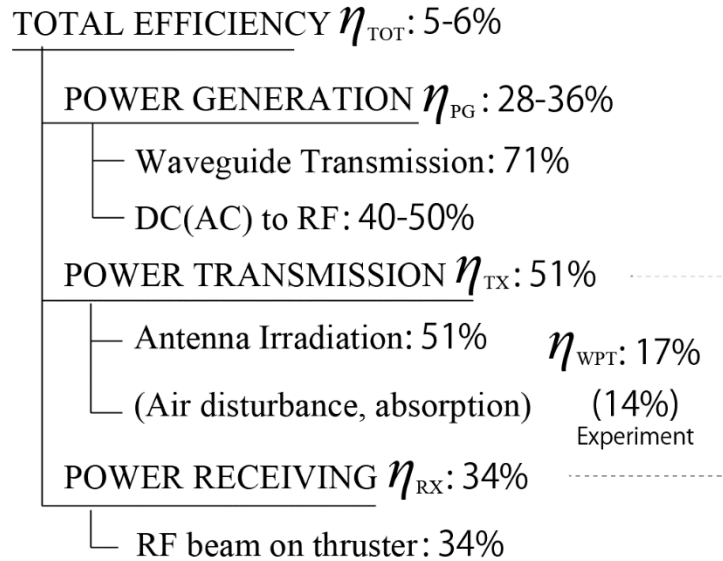


大型電波暗室内での飛行中ドローン への28GHzマイクロ波給電

構造エネルギー工学専攻 嶋村研究室
博士前期1年 元塚洸太

研究背景

- マイクロ波ロケットへの無線電力伝送 -



受電電力をレクテナで測定し、 C_m を送受電側の両方で詳細に評価した。

[1]K. Shimamura, M. Matsukura, T. Kariya et al.,
Journal of Spacecraft and Rockets (in press)

- マイクロ波ロケットの特徴である、推力源を地上にキープするという観点では「ワイヤレス給電効率」は全体の効率に極めて大きな影響を与える
- 我々が過去に行った28GHzジャイロトロンを使った900 mmの送電実験では、ワイヤレス給電効率は14 %でコンセントから推進器までの全送電効率は5 %であった。
[1]
- 本研究ではドローンを使った送受電実験において高精度な追尾システムを開発しつつ、大電力と長距離送電を目指すものである。

ドローン/MAVを使った送受電先行研究

5.8GHzの送電と2.45 GHzのレトロディレクティブ追尾システムを使った実験で1.5 mの距離で0.8%程度の効率を記録した。[2]

ビーム収集効率

$$\eta = 1 - e^{-\tau^2}, \tau^2 = \frac{A_T A_R}{(\lambda d)^2} [4]$$

A_T : 送電アンテナの面積 λ : 波長
 A_R : 受電アンテナの面積 d : アンテナ間の距離

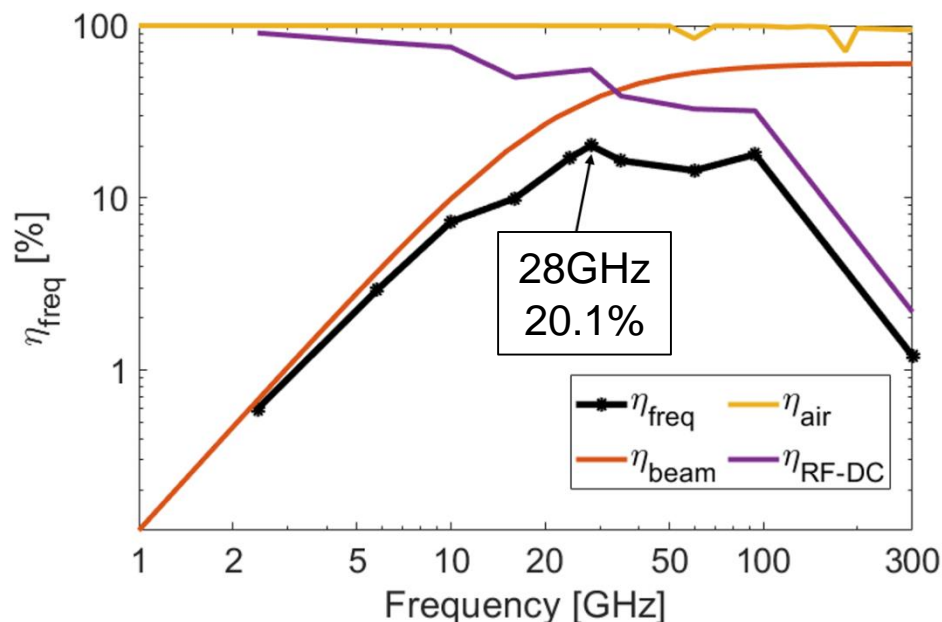
高度50m,
ビームウエスト40cm,
レクテナアレー1辺50cmの正方形

ビーム収集効率: η_{beam}

大気減衰: η_{air}

整流効率: $\eta_{\text{RF-DC}}$

3効率の積: η_{freq}



送受電効率の理論上最も高くなる28GHzを選定

[2] Shimamura, K., Sawahara, H., Oda, A., Minakawa, S., Mizojiri, S., Suganuma, S., . . . Komurasaki, K. (2017). Feasibility study of microwave wireless powered flight for micro air vehicles. *Wireless Power Transfer*, 4(2), 146-159.

[3] Shinohara, Naoki, "Beam Efficiency of Wireless Power Transmission via Radio Waves from Short Range to Long Range", *Journal of electromagnetic engineering and science*, 2010, pp.224-230

屋内GPS追尾システム

GPS追尾システム

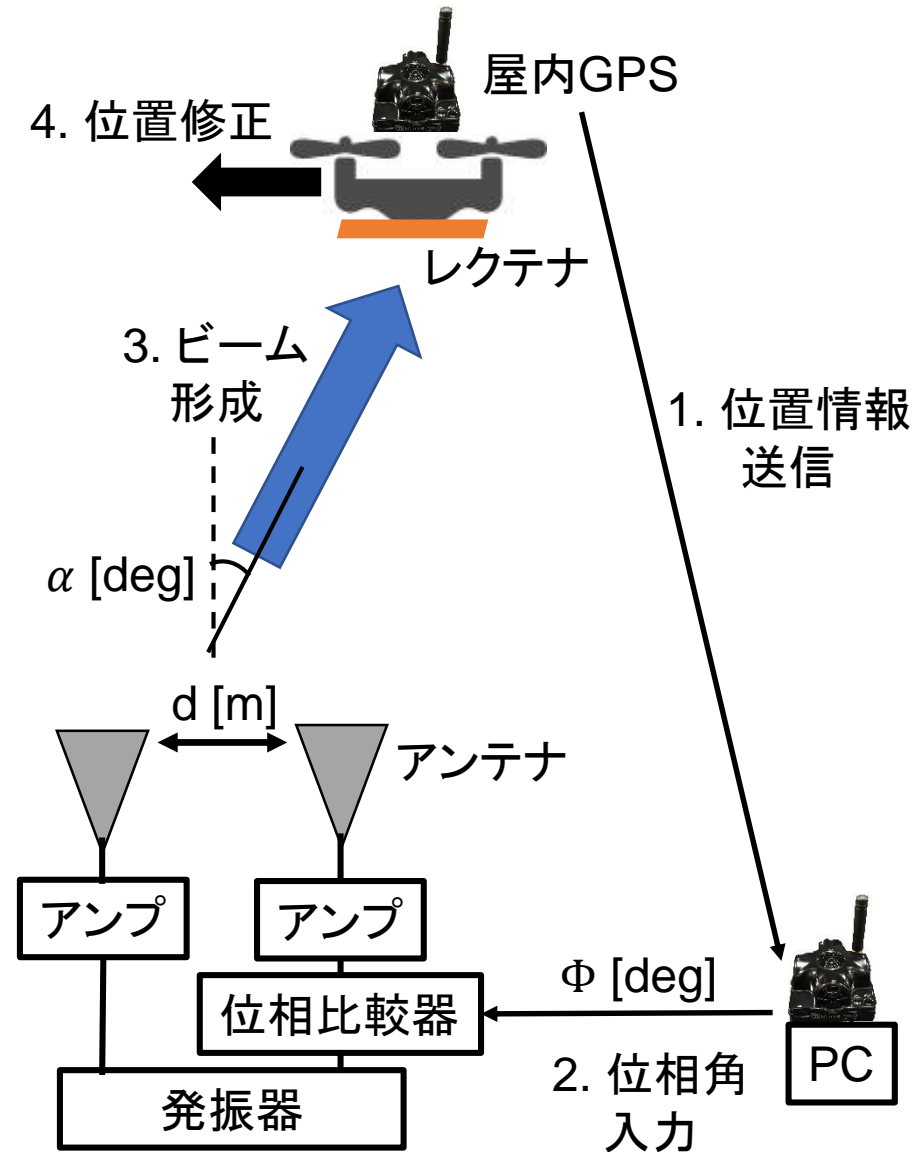
パイロットシグナルを得て、
その方向へビーム形成する技術

1. 屋内GPSで機体の位置を把握
2. 位相角の決定に用いる式

$$\Phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \alpha \quad [4]$$

（ アンテナ間位相差 Φ
ビーム角 α
アンテナ素子間距離 d ）

3. ビーム形成
4. GPSの情報と比較して位置修正

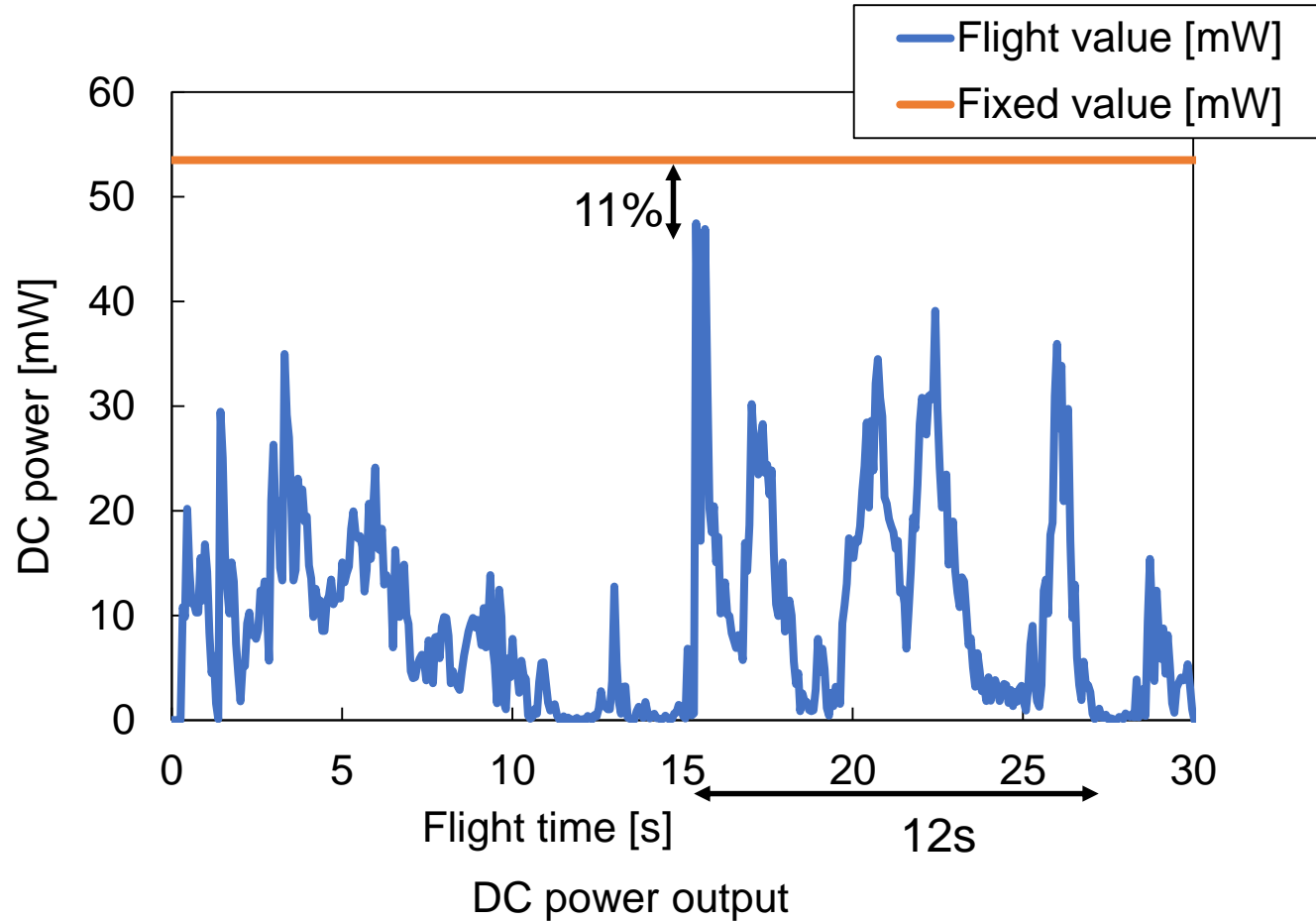


飛行実験 (先行研究)

表面(受電アンテナ)



直線偏波パッチアンテナ
S11 : -19.4 dB (28GHz)
最大利得 : 8.6 dBi(0deg)



最大出力 : 47.5mW (送受電間効率 : 0.88%)

研究目的

先行研究では高度80cmにおいての実験結果しか得ることができていない。
実用化を考えた際にはさらに長距離での実験結果が必要

大型電波暗室内での飛行中ドローンへの28GHzマイクロ波給電

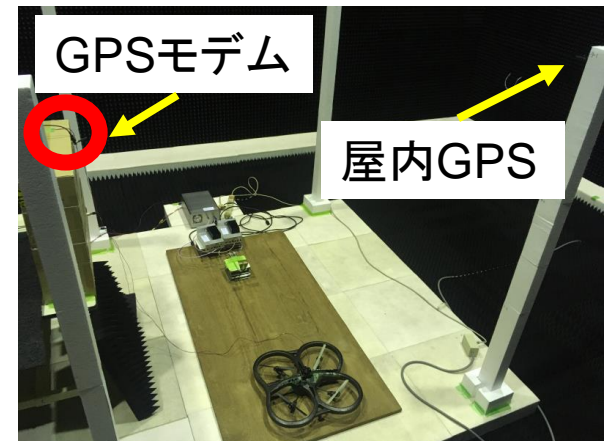
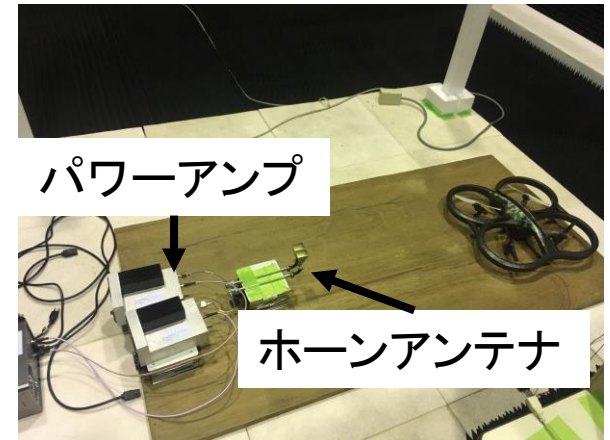
実験概要

福井大学 遠赤外光伝送実験室を使用
全面に電波吸収体が貼り付け(30GHzで40dB減衰)

使用機材

1. AR.Drone 2.0
 - 高度80cmで水平方向に $\pm 20\text{cm}$ [5],[6]
2. 屋内GPS
 - 機体と支柱4箇所配置
3. 発振器・アンプ・ホーンアンテナ
 - 合計出力: 2.7W
 - Y方向のみ追尾(左右方向)
4. 2×2レクテナ [7]

高度 : 80cm, 120cm, 150cm

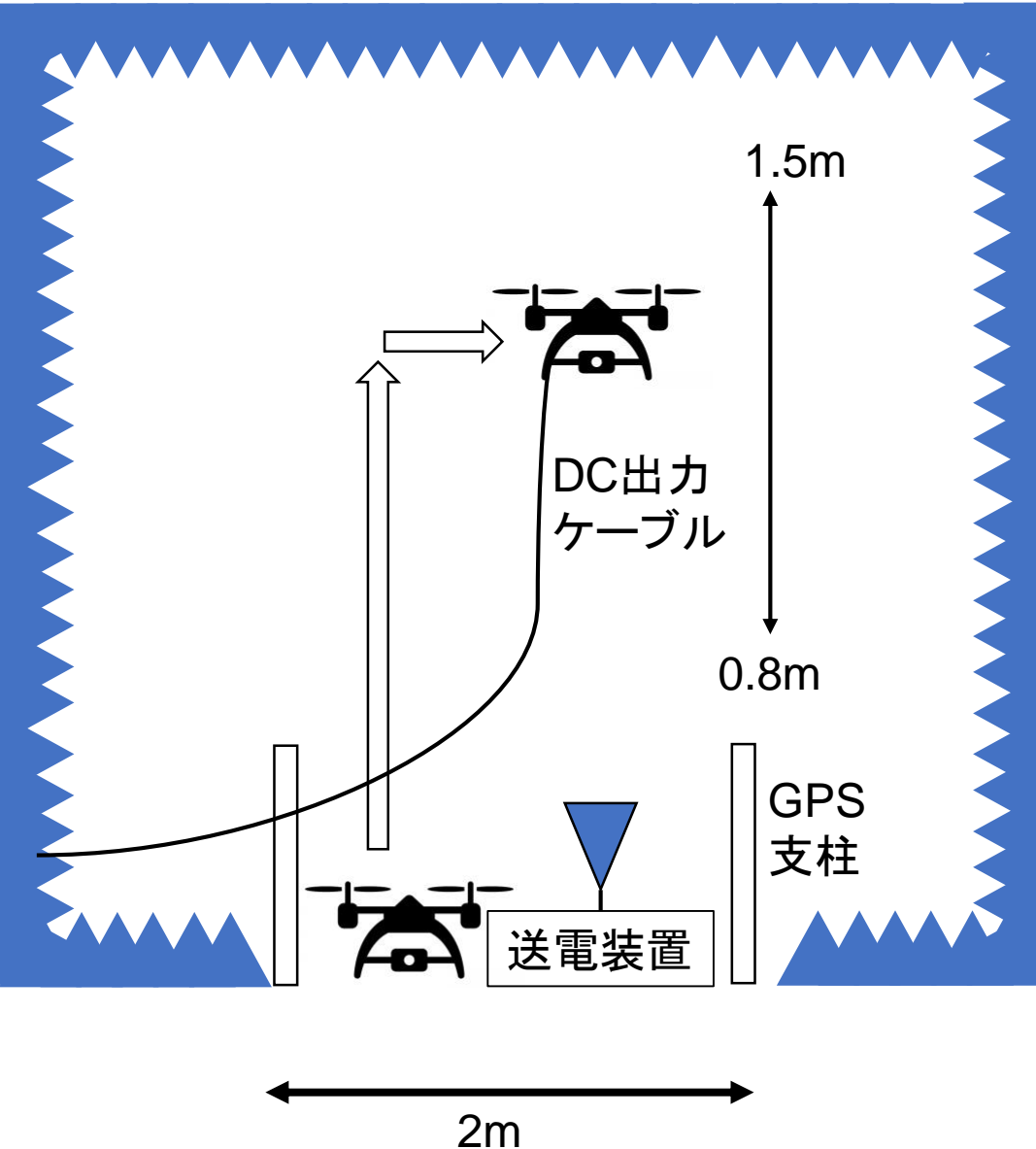


[5] Duc Hung NGUYEN., et al., "Millimeter Wave Power Transfer to an Autonomously Controlled Micro Aerial Vehicle"

[6] S. Aich, et al., "Analysis of ground effect on multi-rotors"

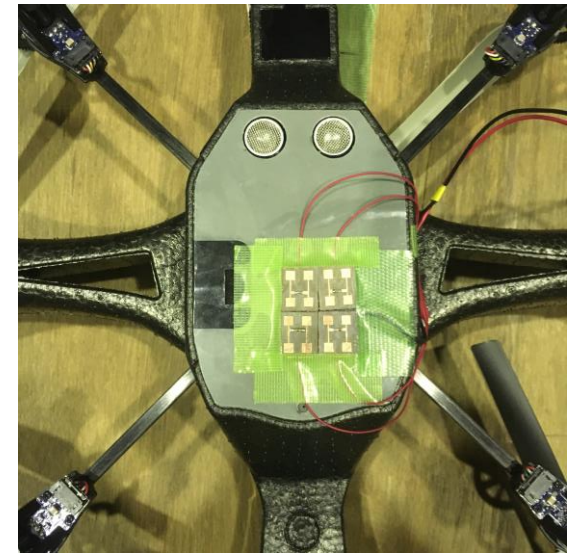
[7] Matsukura, M., et al. "Instantaneous measurement of high-power millimeter-wave beam for 28GHz gyrotron"

実験系 - 概略図 -



ドローンの動き

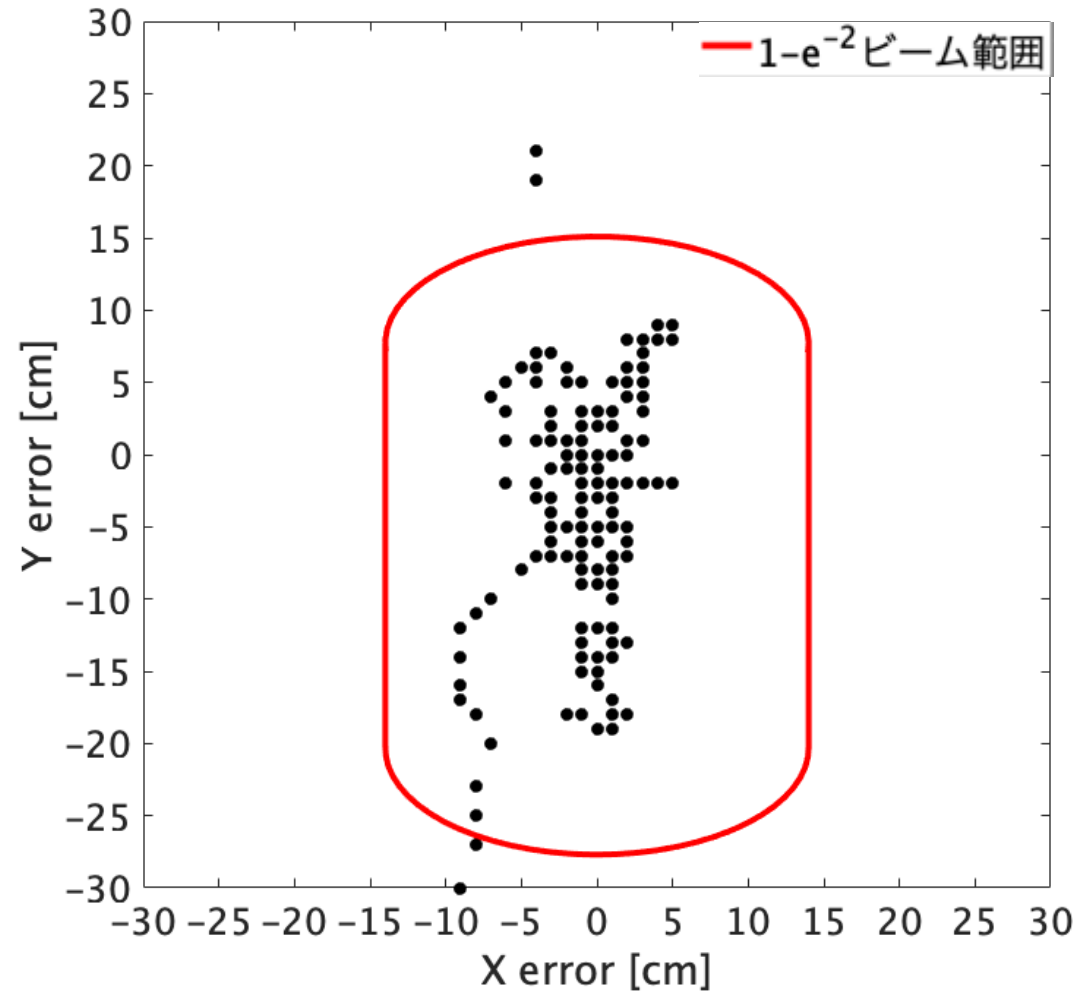
1. 送電装置横で浮上
2. 送電アンテナ上空でホバリング
 - ホバリング高さ0.8~1.5m
 - 送電電力5.3W



レクテナアレー2×2

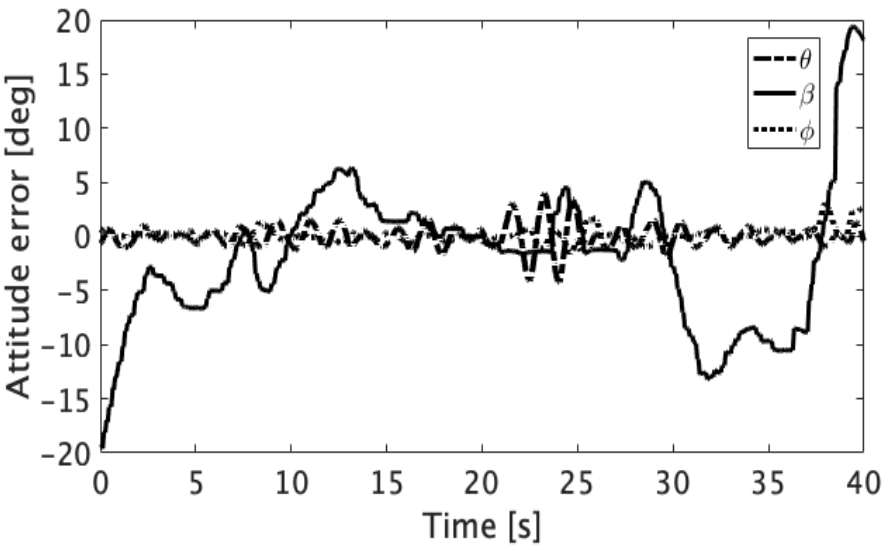
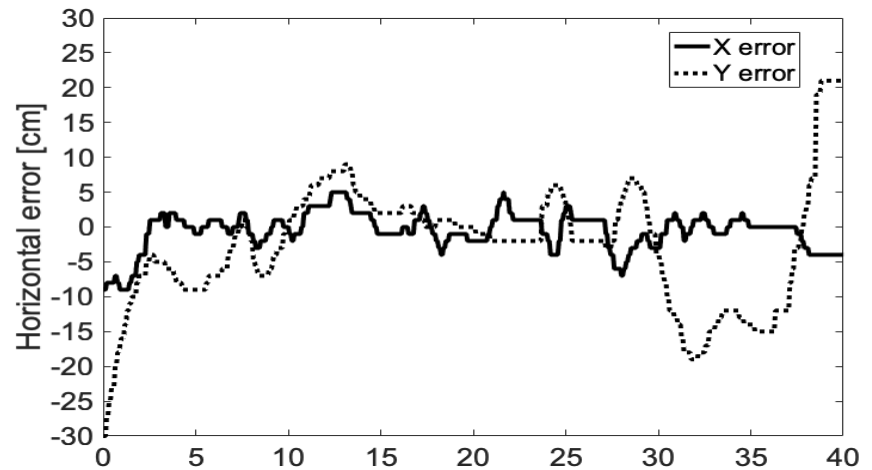
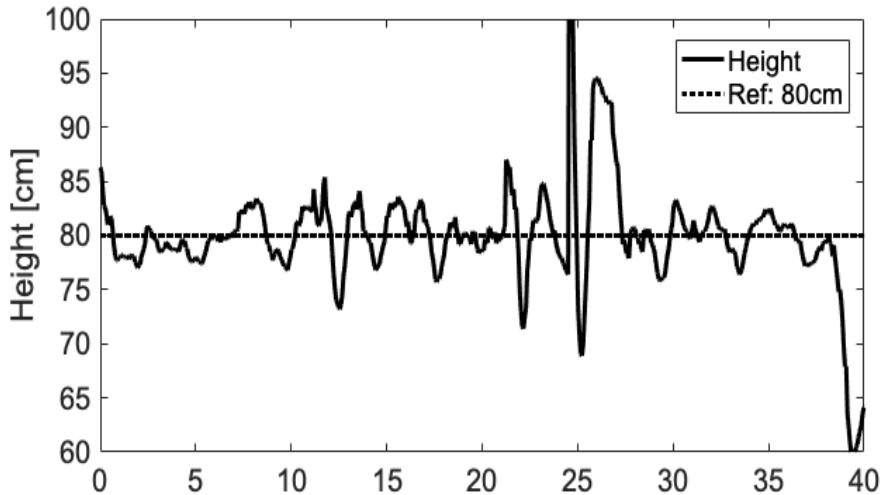
実験結果(80cm)

高度80cm飛行実験



飛行軌跡はほぼ電力取得可能な範囲内に収まっている

実験結果(80cm)



高度

20-30sで変動大

水平方向

Y方向に変動が大きい

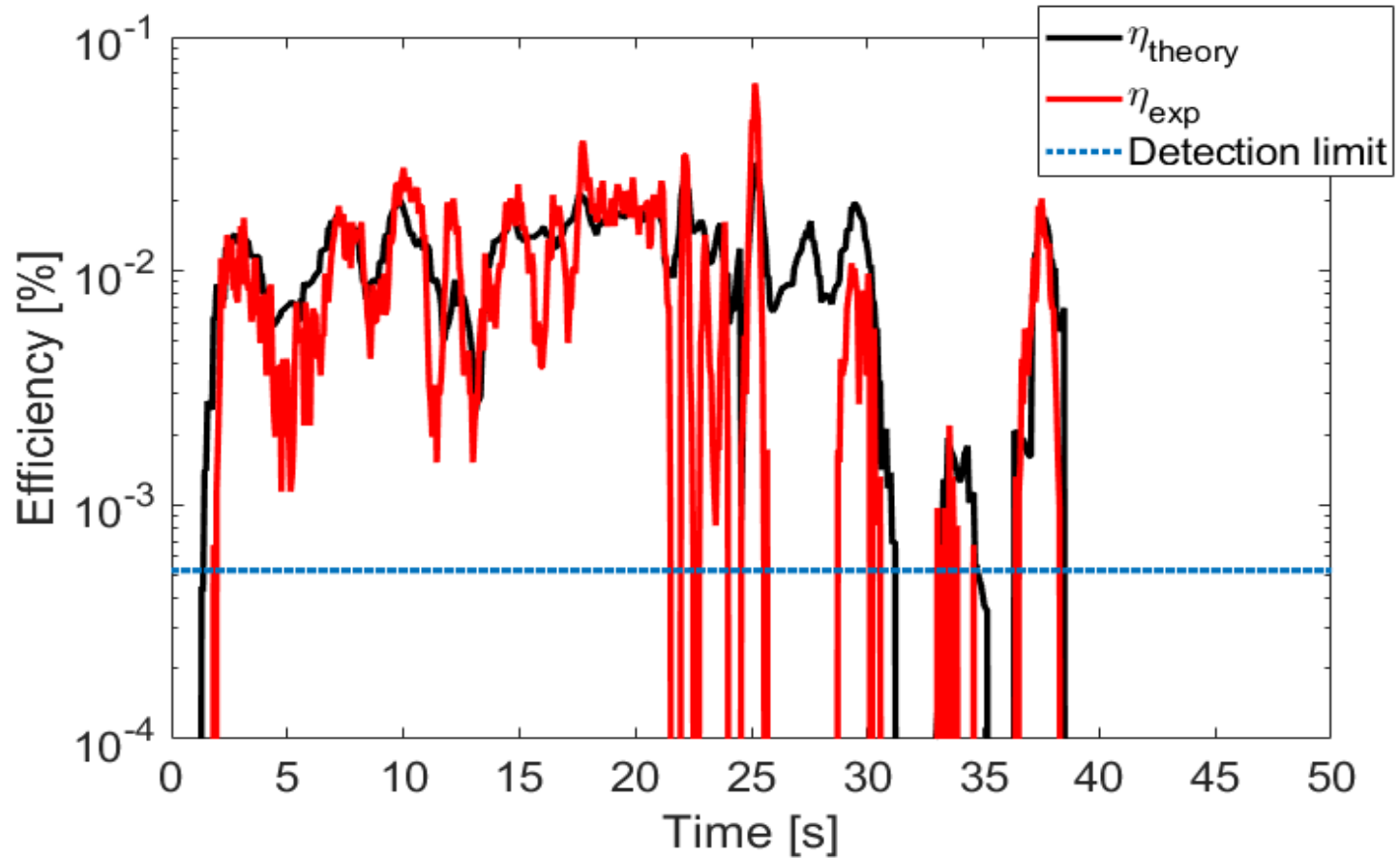
ビーム角も同様に変動し、対応

姿勢

ロール、ピッチの変化 $\pm 5\text{deg}$ 以下

⇒レトロディレクティブは問題なく機能している

実験結果(80cm)

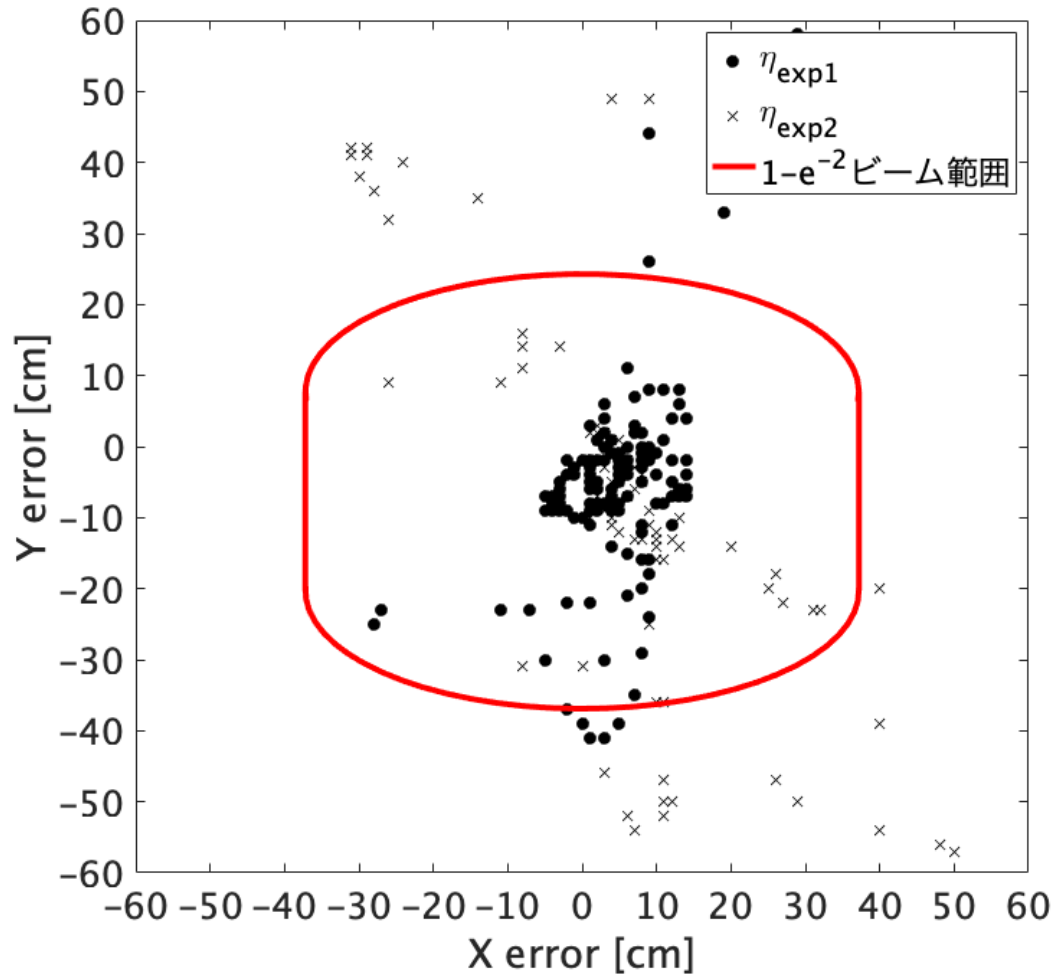


約22sの連続出力に成功

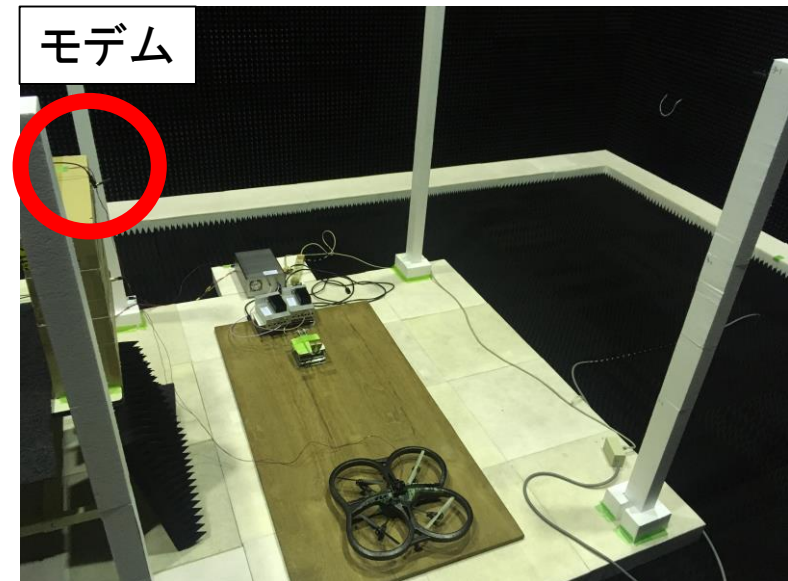
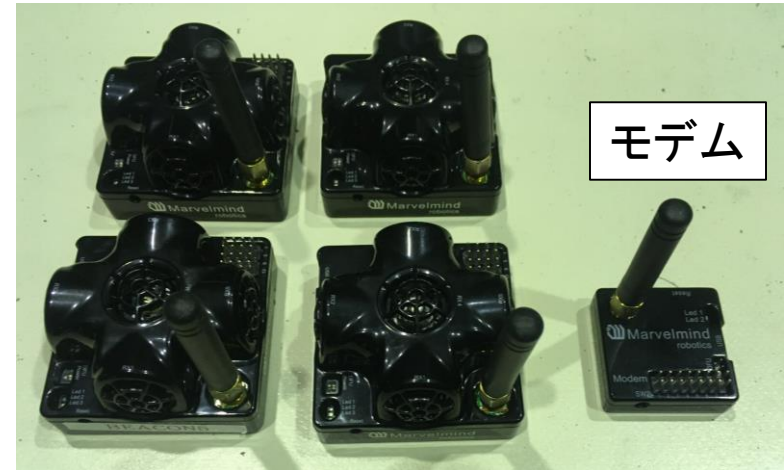
高度とy方向において誤差が大きくなった35秒付近以降で電力取得が不安定

最大送受電間効率: 0.063%(1.7mW)

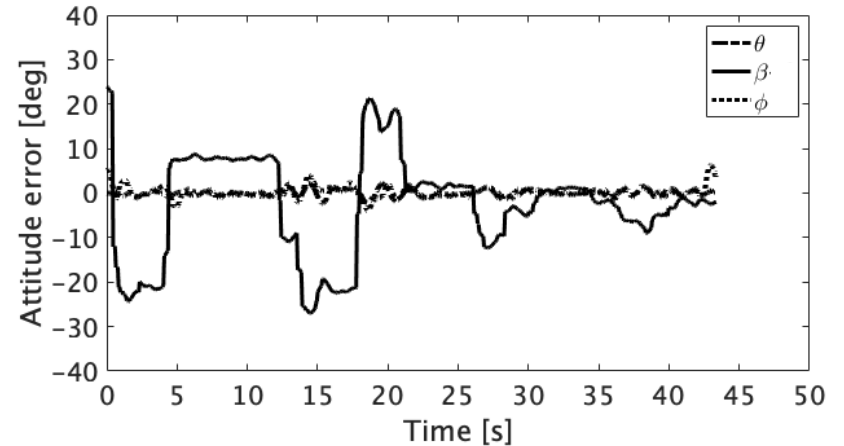
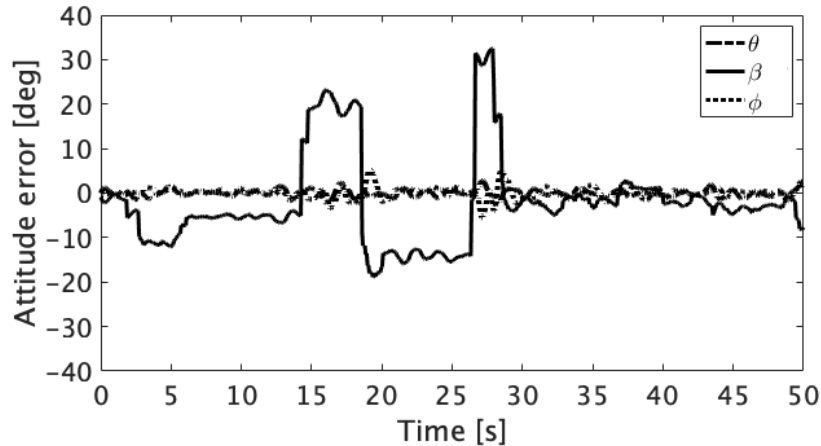
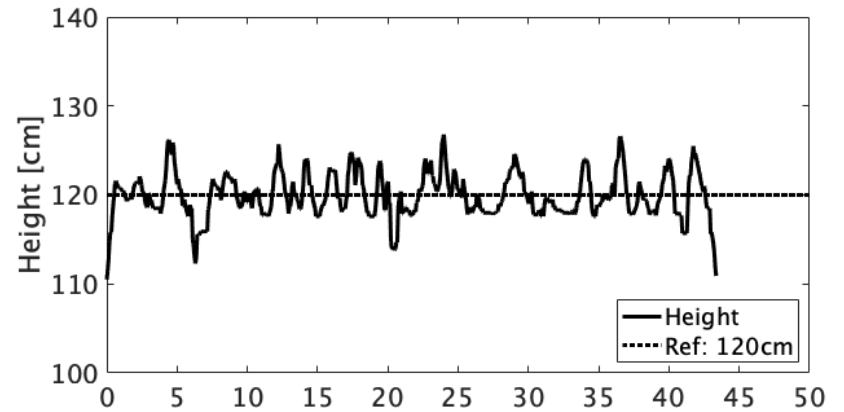
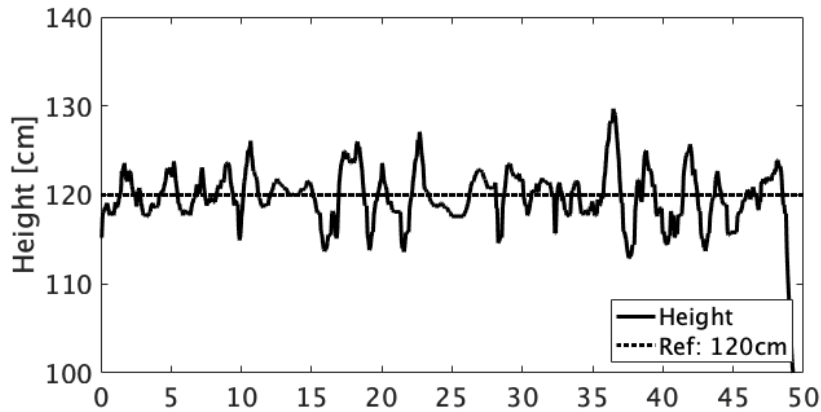
実験結果(120cm)



GPS信号が断続的
→ビーム範囲外への移動が増加



実験結果(120cm)

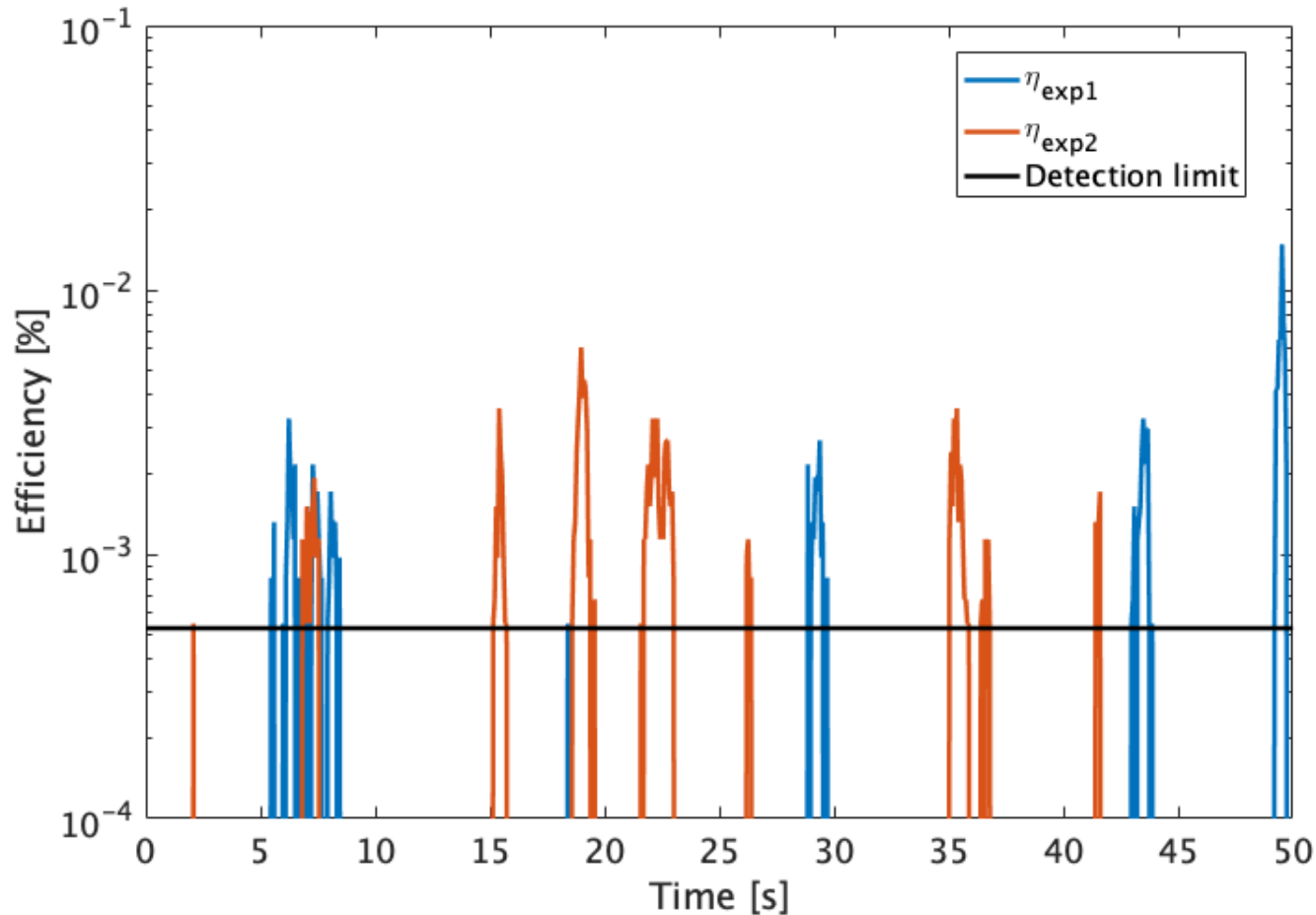


exp1

exp2

exp1,exp2ともに高度はある程度安定
Y方向への大きな誤差→ビーム角が変動しているため、追尾できている

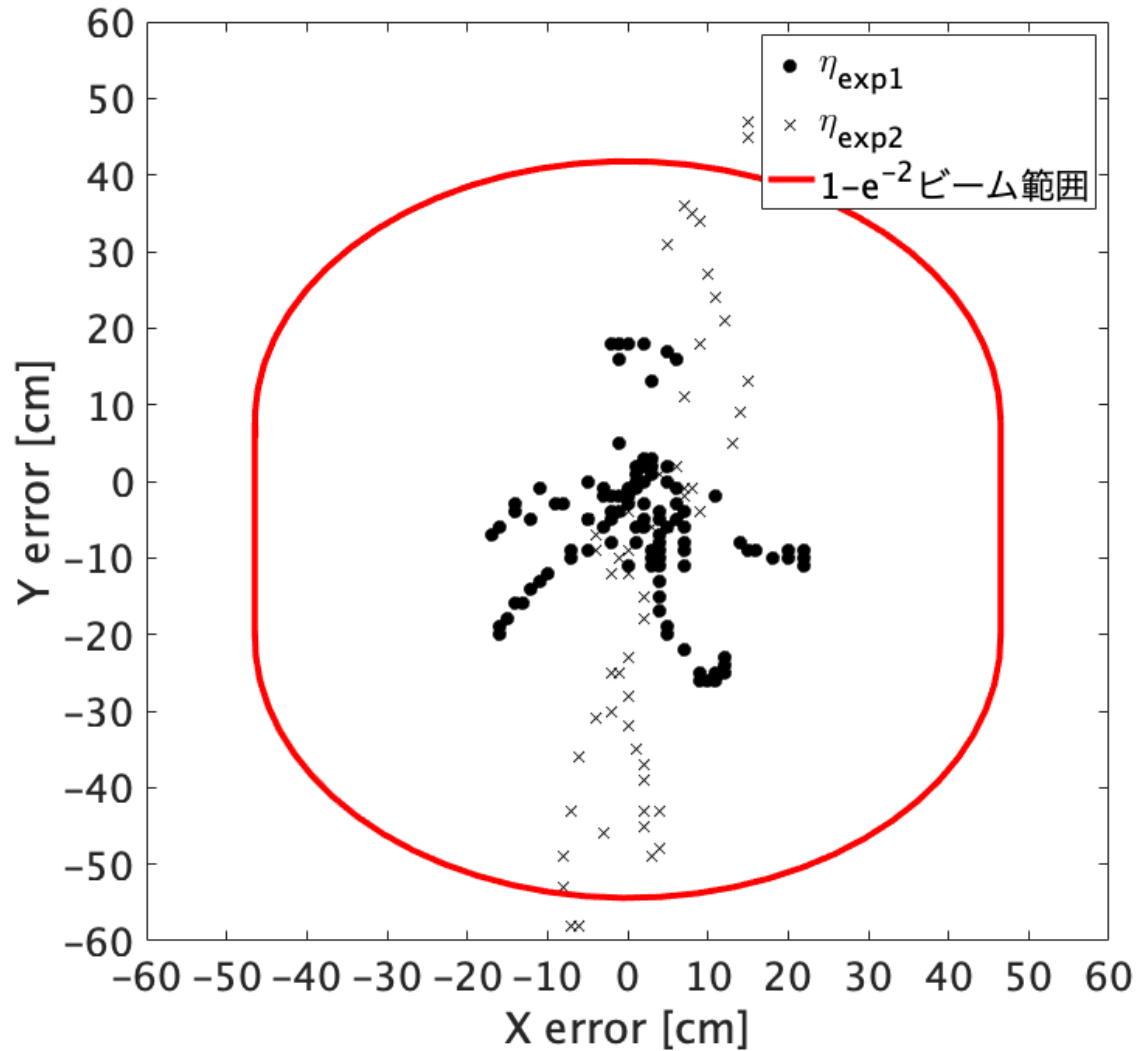
実験結果(120cm)



最大送受電間効率: 0.015%(0.41mW, exp1)

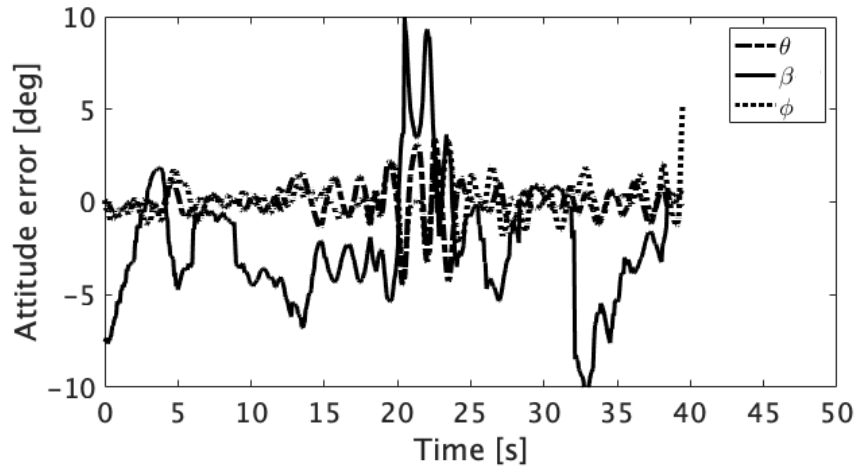
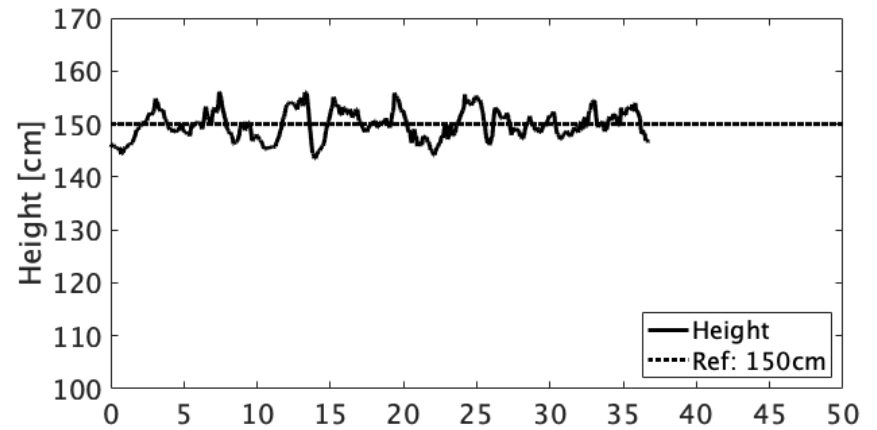
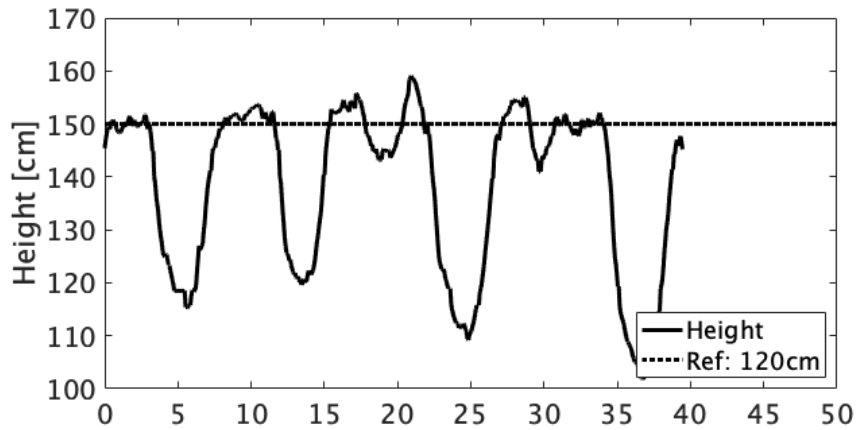
約40mV以下は電圧計の検出範囲外
→取得ステップ数の大幅な減少

実験結果(150cm)

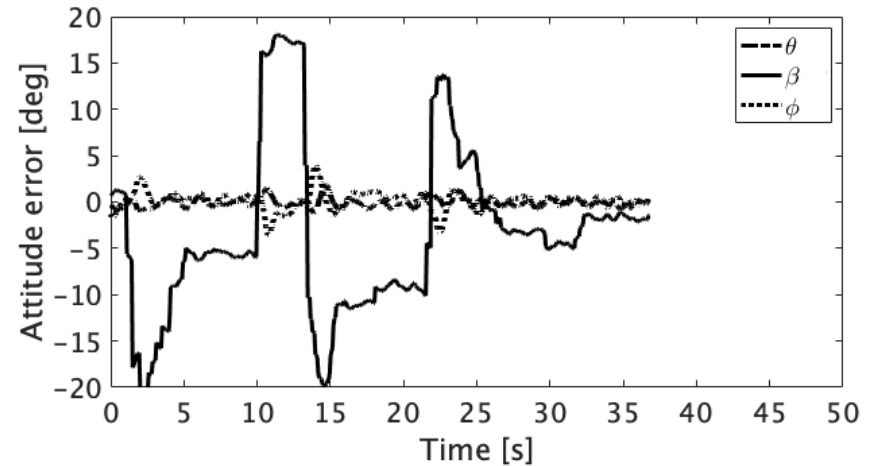


120cm同様にGPS信号が断続的

実験結果(150cm)



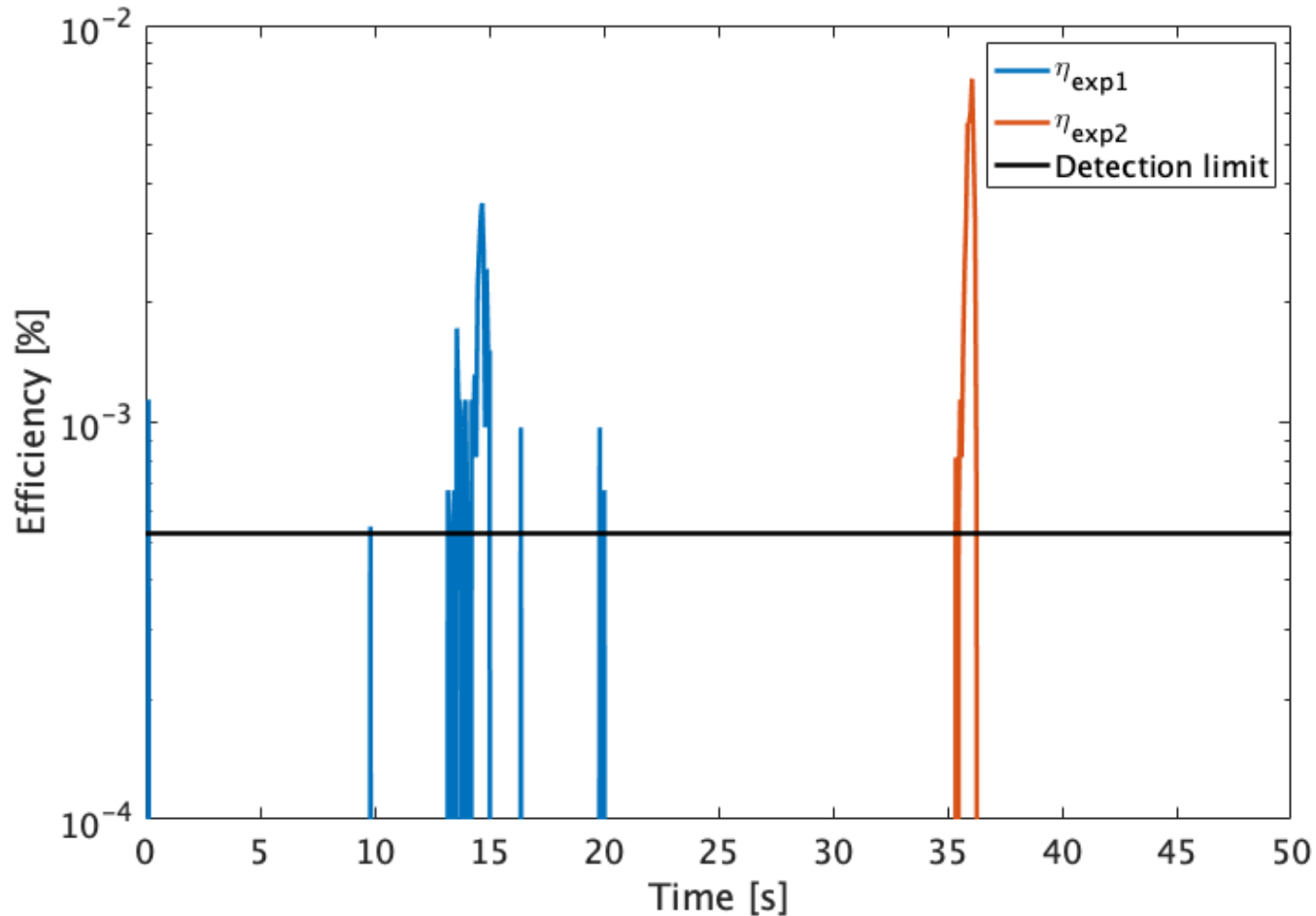
exp1



exp2

exp1は高度,exp2はy方向が大きく変動

実験結果(150cm)



最大送受電間効率: $7.3 \times 10^{-3}\%$ (0.20mW, exp2)

取得ステップ数は10程度であった

まとめ

80、120、150cmにおいて伝送実験を行った

→80cmにおいて実験値での最大伝送効率は0.063%

つくばでの最大値は0.88%

120、150cmではそれぞれ最大伝送効率は0.015%、 $7.3 \times 10^{-3}\%$

効率低下の原因

- ・実験機器の故障

アンプと導波管をつなぐケーブルが破損 (S_{21} : -2.2dB)

計算上2.9mまで電力取得可能だったが、1.5mで検出限界となった

- ・GPS信号取得の不安定さ

高度を上げるにつれてGPS信号の取得が不安定になっていった

今後の計画

- 本実験を踏まえての課題点の改善

- GPS出力が不安定

屋内GPSの有効距離は50mとされているが今回不安定な挙動

→距離に依存して不安定となっていたため、モデム数を増やすことで対応可能か検討

- 伝送効率の向上

- レクテナ搭載数増加

最大で約80個搭載可能予定

- 整流回路の改良

GaNダイオードの使用→より大電流の整流が可能



より長距離でのドローンへの無線給電を実現を目指す