

ミリ波ビームの空間伝送技術と無線電力伝送への応用

筑波大嶋村、福井大福成

1. ミリ波空間伝送の応用研究と動向
2. RF整流回路技術
3. ビーム形成とトラッキング技術(要検討)
4. 結論

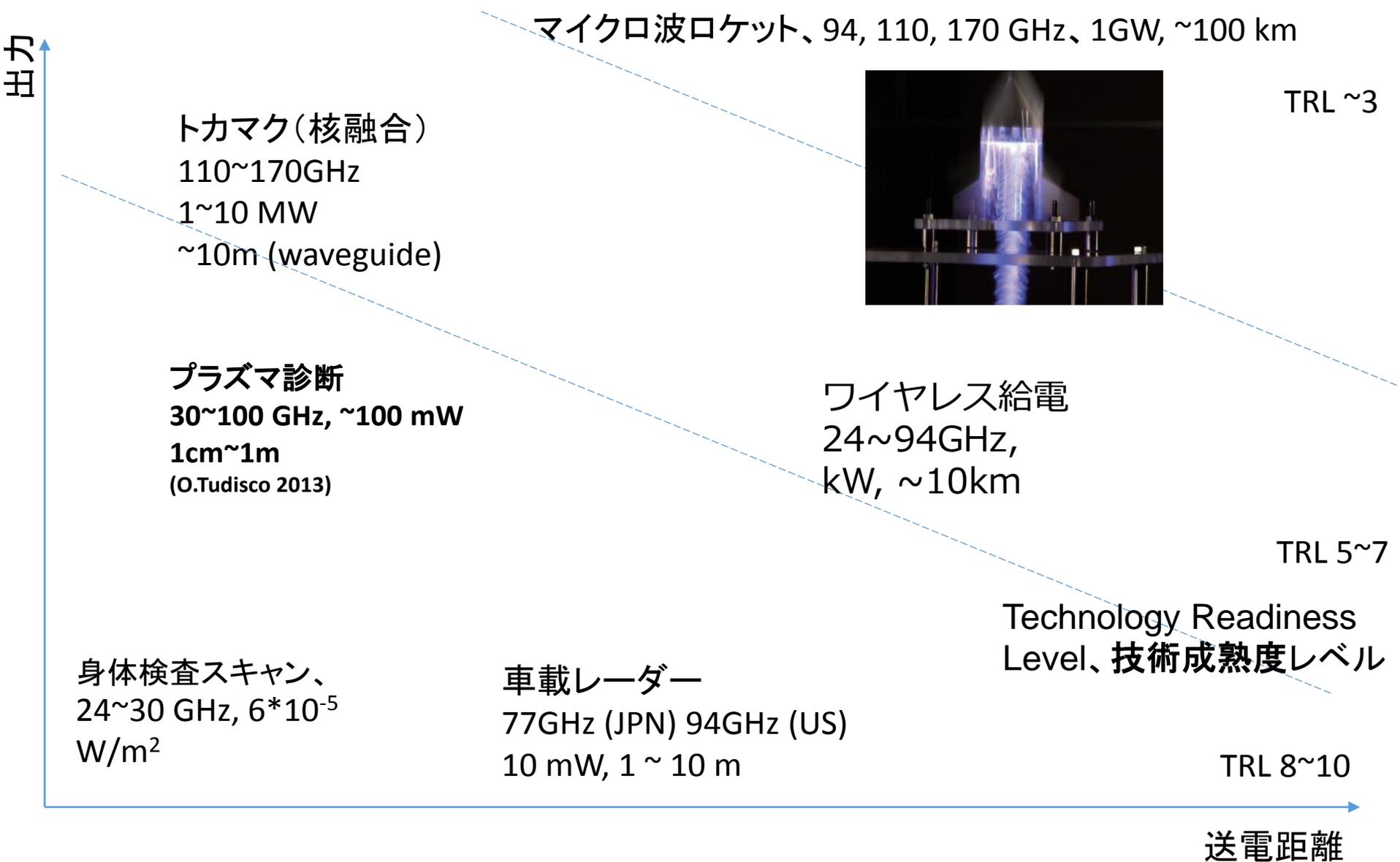
ミリ波ビームの空間伝送技術と無線電力伝送への応用

筑波大嶋村、福井大福成

1. ミリ波空間伝送の応用研究と動向
2. RF整流回路技術
3. ビーム形成とトラッキング技術(要検討)
4. 結論

1. ミリ波空間伝送の応用研究と動向

ミリ波空間伝送技術応用

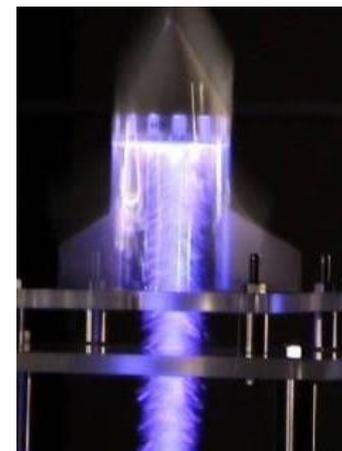


1. ミリ波空間伝送の応用研究と動向 原動機への応用

電磁波による機体外部からのエネルギー供給
低コスト、高いペイロード比が望める

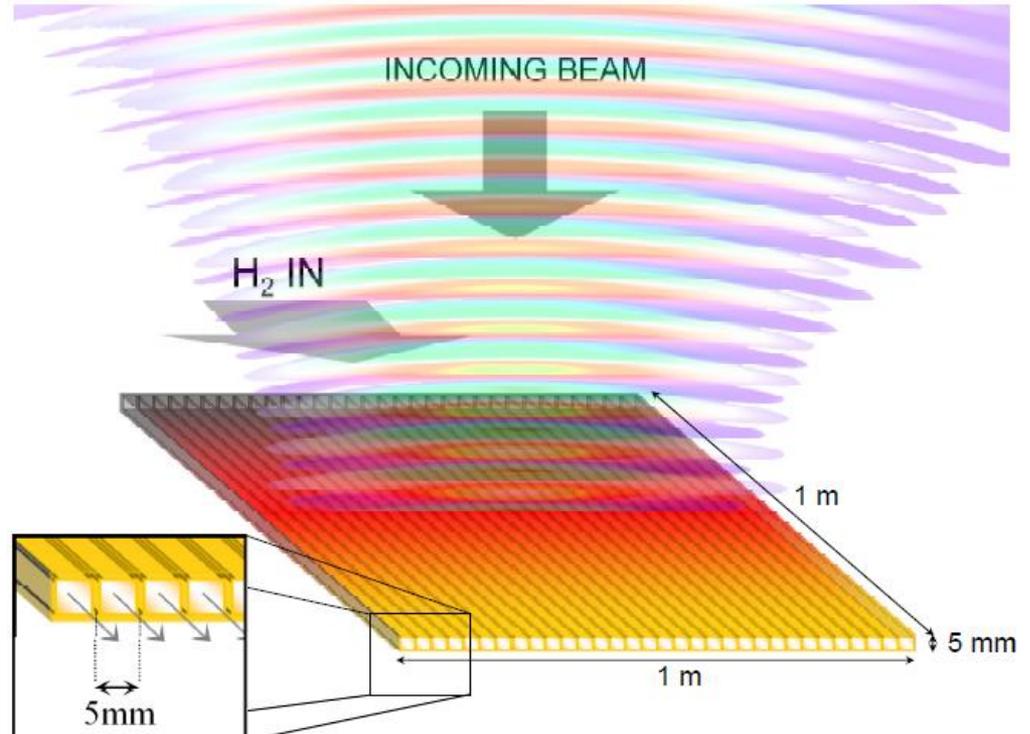
ミリ波ビームの推力エネルギー変換3方式

- 推進剤直接加熱方式
 - 水素等の推進剤をマイクロ波で誘電体チューブ内で加熱しノズルを用いて加速・排気する。
(Parkin et al., proc. of ISBEP2)
- パルスプラズマ駆動衝撃波方式
 - マイクロ波パルスの放電により誘起される衝撃波を推力に変換する (Oda, Komurasaki 2004)
- レクテナによる電力飛行方式
 - 推進器がコンパクトで小型飛行に有利
 - 既にマイクロ波での小型飛行機への照射・追尾飛行試験が実施されている (Matsumoto, 1993)



推進剤直接加熱方式

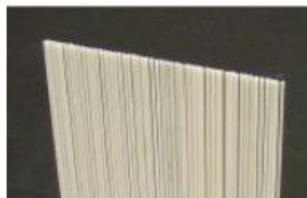
- ミリ波加熱による熱交換で推進剤を加熱
- 推進剤は気体力学的な加速では分子量が小さい水素



アルミニウム熱交換器
Roll-bonded
 0.1-5 kg/m²
 <1 MW/m²
 <1200 K
 (Artal Italiana panels shown)



Ceramic tubes
 1-10 kg/m²
 <10 MW/m²
 <2500 K

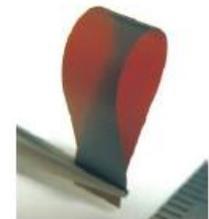


Graphite tubes
 1-5 kg/m²
 <1 MW/m²
 <3500 K



酸化グラフェン
 (軽量・熱伝導性○)

rGO paper
 ~0.003 kg/m²
 <1 GW/m²
 <4900 K

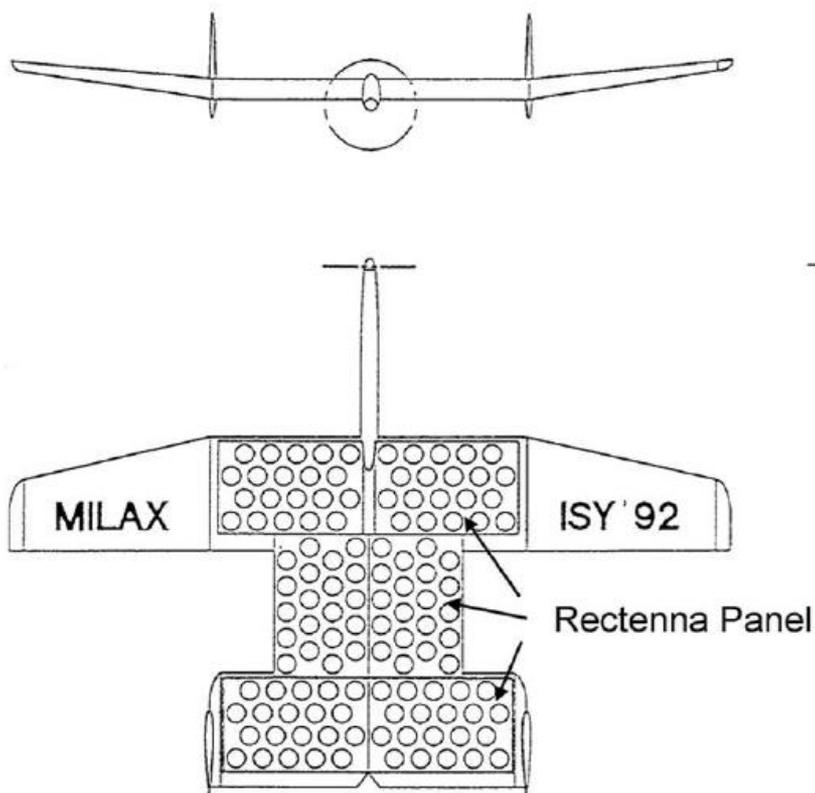


レクテナ飛行方式 : MILAX demonstration (1992.8)

- Microwave Lifted Airplane eXperiment.
- 350m, 40 sec flight is succeeded
- 29th, Aug., 1992.
 - Tx power 1 kW
 - Rx power 88W
 - Height 15m
 - Rectenna efficiency 52%



(1992 Matsumoto)



概要

- 全長1.89 m, 全幅2.5 m 翼面積0.894 m²
- 総重量3.98 kg(機体1.79レクテナ1.05, バッテリー0.42, 推進+操縦系0.72)

航空機の特徴

- パルサ材の骨組みにフィルム張
- 高迎角時の方向安定な双垂直尾翼
- レクテナを取り付けやすくするため曲面を排除

受電素子特徴

- レクテナ20素子を6パネル、計120素子
- 電磁結合型マイクロストリップアンテナを0.7波長素子間隔で三角配列
- 整流回路は1/4波長シングルシャント型

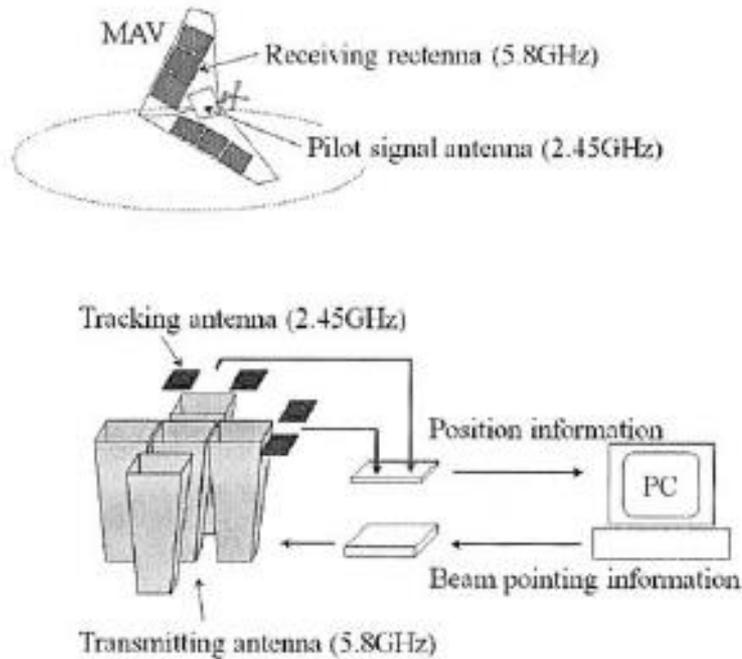
Fig. 8. MILAX airplane and rectenna array.

(2013 Shinohara)

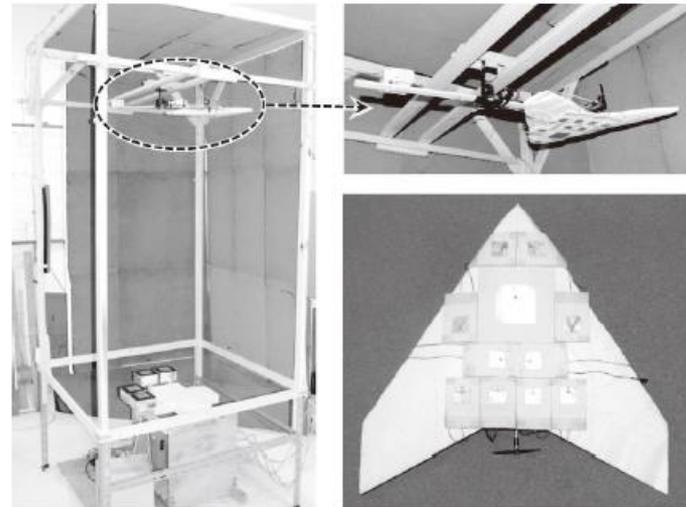
小型飛行体へのマイクロ波無線給電システム*¹ Microwave Wireless Power Supply System to a Micro Aerial Vehicle

小田章徳*²・澤原弘憲*²・石場舞*²・嶋根愛理*²・小松周平*²
Akinori ODA, Hironori SAWAHARA, Mai ISHIBA, Eri SHIMANE, Shuhei KOMATSU,
勝永健太*²・小澤亮二*³・Hanno ERTEL*²・小紫公也*²・荒川義博*³
Kenta KATSUNAGA, Ryoji OZAWA, Hanno ERTEL, Kimiya KOMURASAKI and Yoshihiro ARAKAWA

Key Words: Wireless Power Transmission, Microwave, Active Phased Array, Micro Aerial Vehicle



第1図 マイクロ波無線給電システム全体の概念図



第16図 送電デモンストレーション実験系 (左), MAV モデル (右上), 翼下面に配置されたレクテナアレイ (右下)

レーザーエネルギー伝送の小型無人飛行体への応用¹⁾

Laser Energy Transmission to a Small-Unmanned Aerial Vehicle

武田 和也^{*2}・河島 信樹^{*2}・矢部 恭一^{*2}

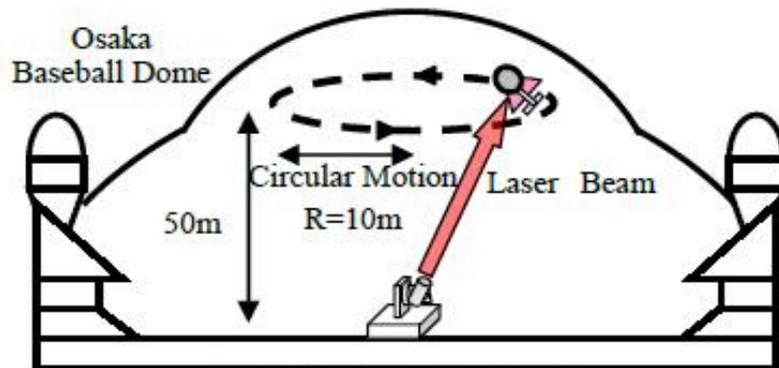
Kazuya TAKEDA, Nobuki KAWASHIMA and Kyoichi YABE

第1表 小型無人飛行機の概要

項目	仕様
サイズ	全長：780 mm, 全幅：1360 mm, 全高：580 mm
翼面積	0.5032 m ²
重量	800 g
飛行高度	～500 m
消費電力	平均約 37 W (安定旋回運動時)
手動制御方式	PCM方式 RCプロポ (73 MHz)
ペイロード	600 g (装置電池等含む)
搭載	リチウムポリマー電池 (7.4 V, 480 mAh) モーターアンプ (受信機) オプションでカメラ等搭載



第2図 作製した小型無人飛行機



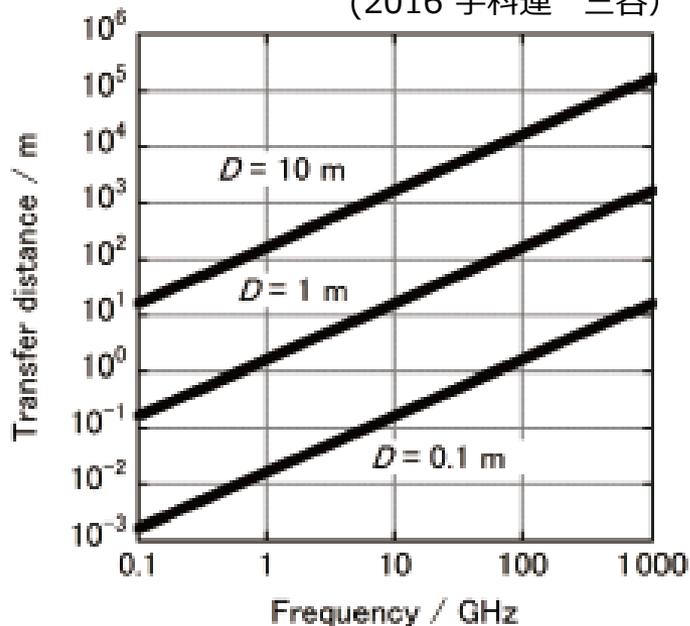
第11図 大阪ドームでの飛行



第12図 追尾中の様子 (下からレーザーが照射され、ドーム天井に太陽電池パネルと翼の影が見えている)

レクテナによる電力飛行方式-ミリ波送電の優位性

(2016 宇科連 三谷)



2006 D. J. Pines (Fig.4を一部改変)

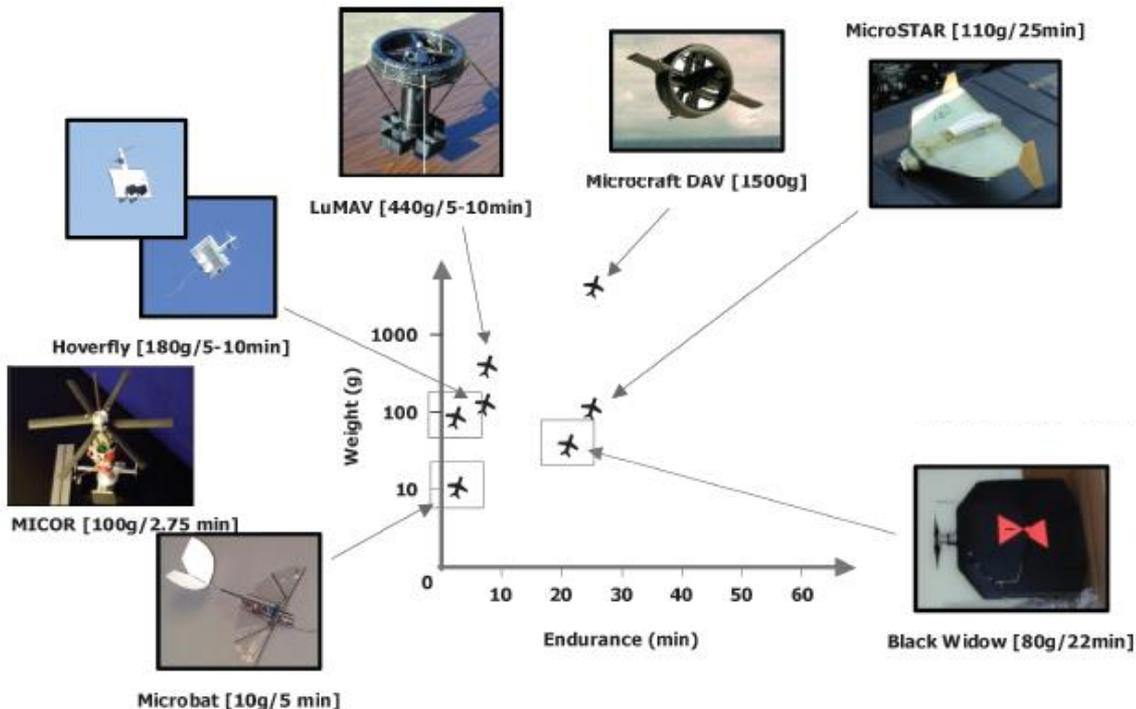


図1 ビーム収集効率91.5%における周波数と送受電間距離の関係 (D : 送受電アンテナの開口直径).

- ミリ波はビームの指向性が高く、送電効率が高い
 - フリスの公式より $D=1\text{m}$, 91.5%, $10\text{ m @}5.8\text{GHz}$, $100\text{ m @}94\text{GHz}$
- 小型回路はエネルギー密度が高くMAVなど小型移動体に最適($\sim 100\text{mW/g}$:Li-ion電池)
 - MAVは特に高いエネルギー密度を要し、10分前後の動作

2. RF整流回路技術 現状のミリ波整流器開発

Development of 24GHz Rectenna for Receiving and Rectifying Modulated Waves

Naoki Shinohara¹, and Ken Hatano¹

¹ Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Japan

shino@rish.kyoto-u.ac.jp

Abstract. In this paper, we show experimental results of RF-DC conversion with modulated 24GHz waves. We have already developed class-F MMIC rectenna with resonators for higher harmonics at no modulated 24GHz microwave for RF energy transfer. Dimensions of the MMIC rectifying circuit is 1 mm × 3 mm on GaAs. Maximum RF-DC conversion efficiency is measured 47.9% for a 210 mW microwave input of 24 GHz with a 120 Ω load. The class-F rectenna is based on a single shunt full-wave rectifier. For future application of a simultaneous energy and information transfer system or an energy harvesting from broadcasting waves, input microwave will be modulated. In this paper, we show an experimental result of RF-DC conversion of the class-F rectenna with 24GHz waves modulated by 16QAM as 1st modulation and OFDM as 2nd modulation.

篠原らは24GHzでは194mW入力で変換効率47.9%の整流器を開発

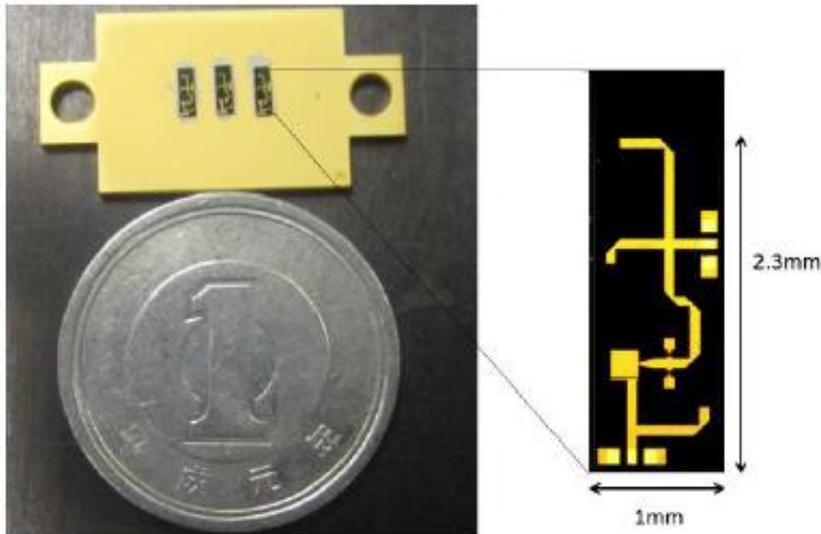


Figure 2. Developed MMIC Rectifying Circuit in 24GHz

Small-Footprint Wideband 94GHz Rectifier for Swarm Micro-Robotics

Simon Hemour, *Member, IEEE*, Carlos H. P. Lorenz, *Student Member,*

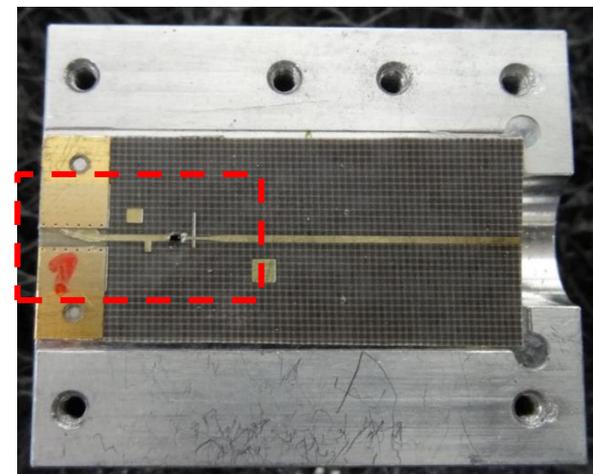
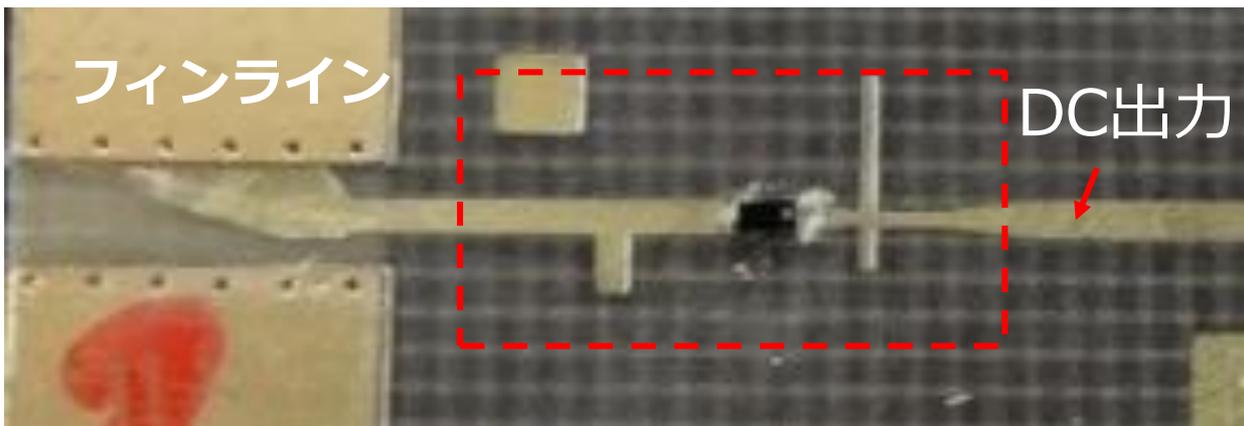
Poly-GRAMES, École Polytechnique Montréal, Montréal (QC)

Hemourらは94GHzでは32.3%, 1.02mWの整流器を開発



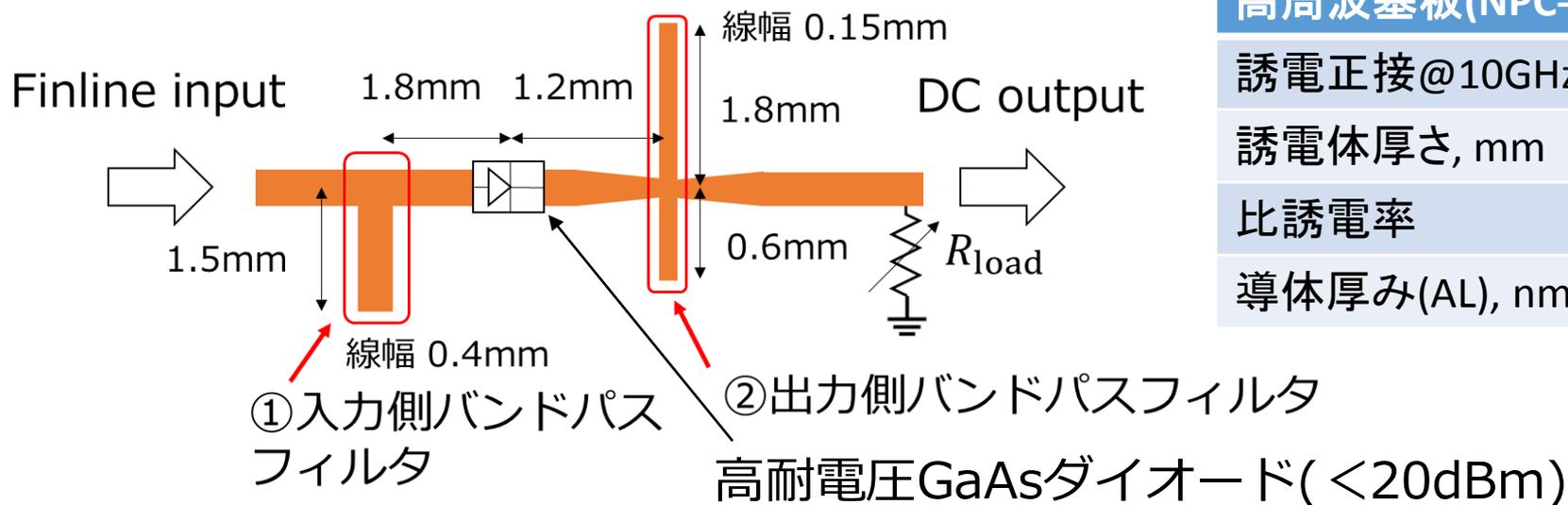
Fig. 1: (a) Photograph of the I-SWARM micro-robot [1], (b) Proposed 94GHz rectenna.

2. RF整流回路技術 94GHz整流回路構成

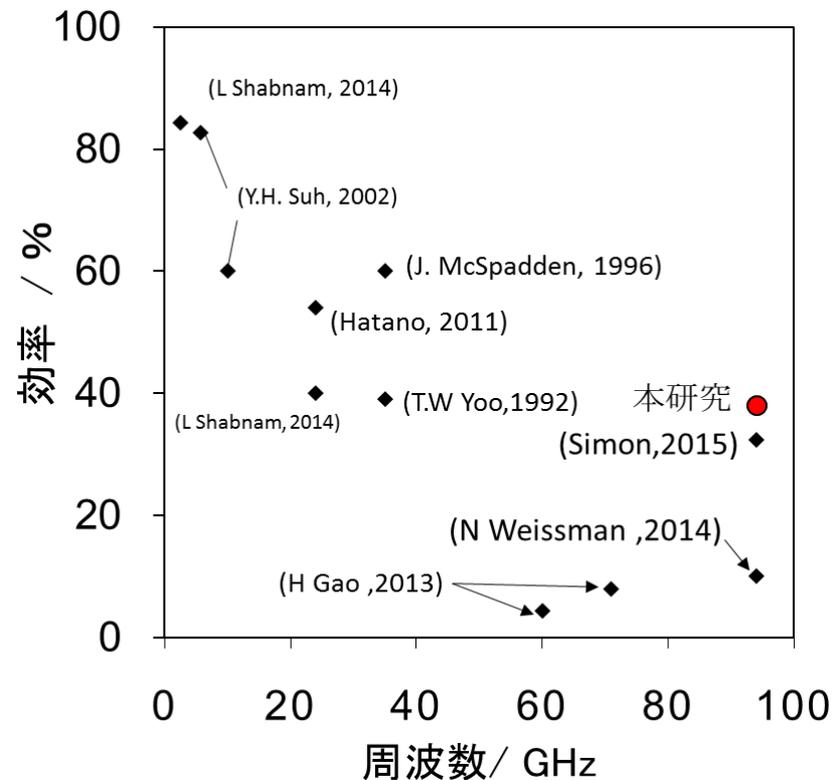
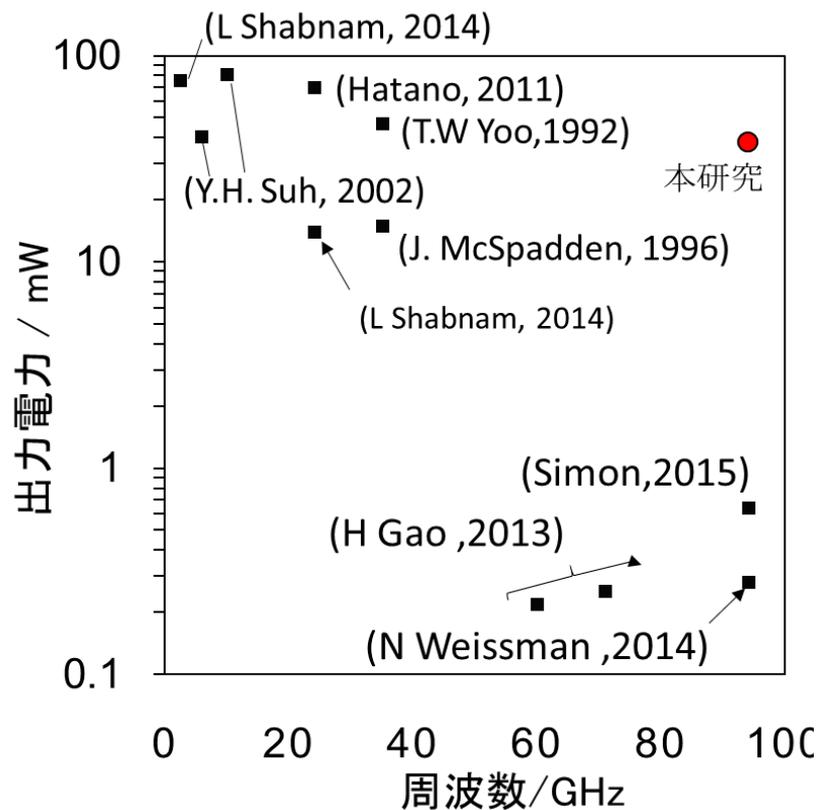


高周波基板(NPC-F220A)

誘電正接@10GHz	0.0006
誘電体厚さ, mm	0.127
比誘電率	2.19
導体厚み(AL), nm	500



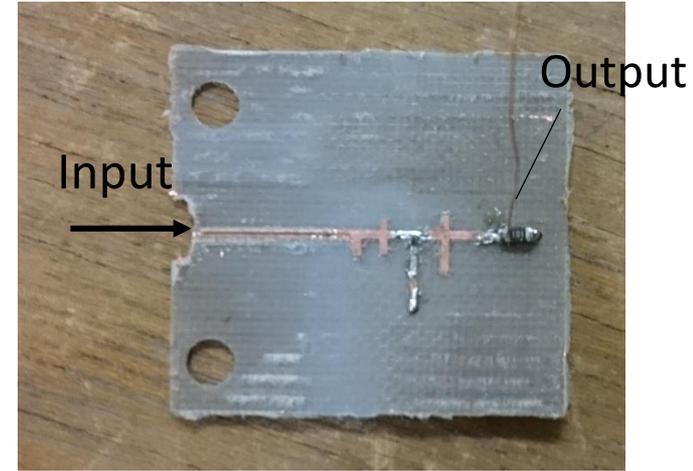
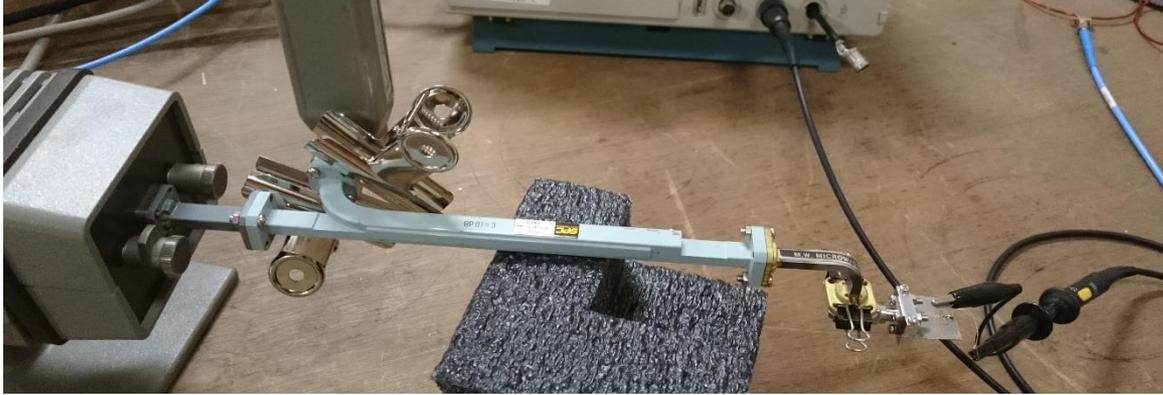
2. RF整流回路技術



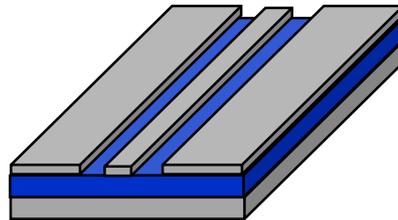
- フィンラインによるRF-DC変換効率25 %が得られた
- 入射電力104 mWにて整流効率38%, DC出力39mWを得た

2. RF整流回路技術 現状の研究状況について

パワー：28GHz整流回路



周波数：300GHz整流回路



GCPWG



GCPWフィンライン

3. ビーム形成とトラッキング技術 - 機械式追尾方式

Space Propulsion and Power Beaming Using Millimeter Systems

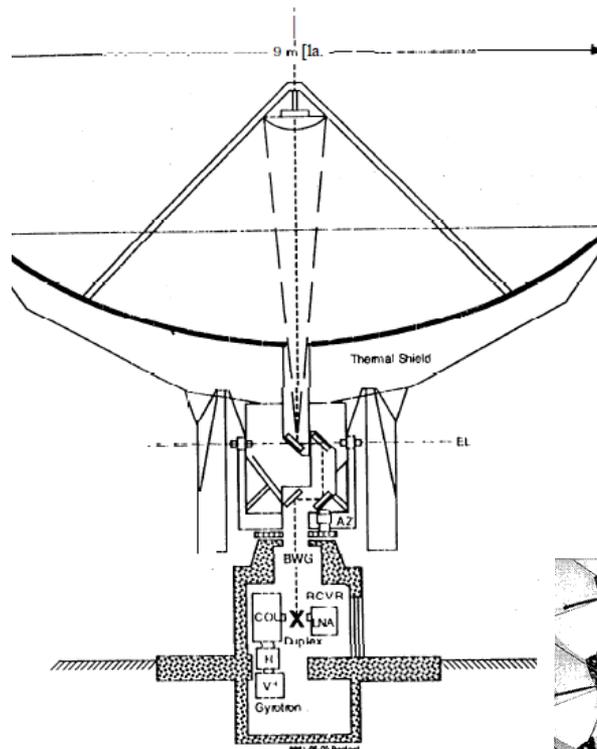
J. Benford

“Physics International Company
27(K) Merced Street
San Leandro, CA 94517

and

R. Dickinson

Jet Propulsion Laboratory
4800 Oak Grove Drive
Pasadena, CA 91109



A Megawatt Power Millimeter-Wave Phased-Array Radar

A.A. Tolkachev, B.A. Levitan, G.K. Solovjev, V.V. Veytsel and V.E. Farber
JSC “Radiophysika”

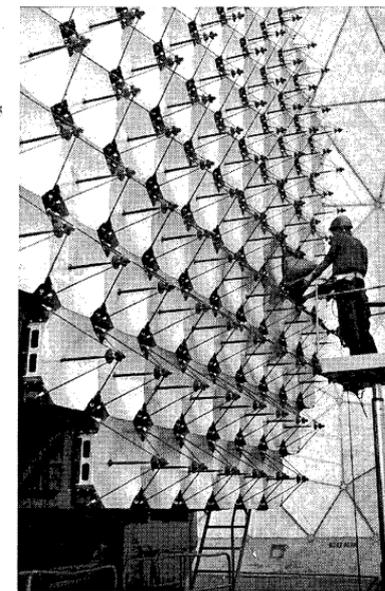


Fig. 5. Mechanically-steering phased-array antenna