

Advanced Science –Technology Research Organization

～H27年度ASTROセミナー～



# Research & Study of EMdrive

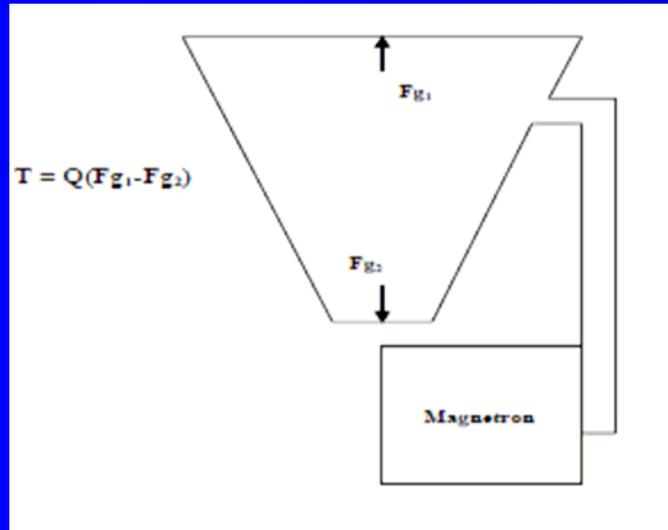
Oct.31 2015

*Toshihide Yamamoto* 山本 俊英

# 1. EMdrive開発動向

SPR Ltd, United Kingdom

Roger Shawyer



The complete static thrust equation is:

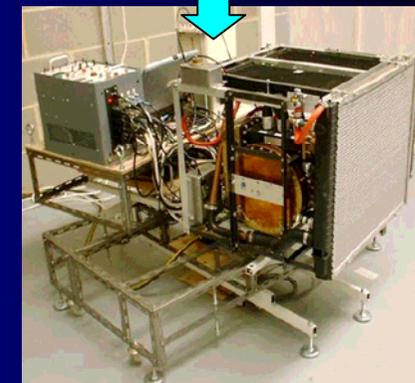
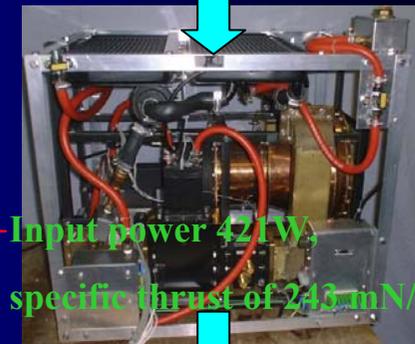
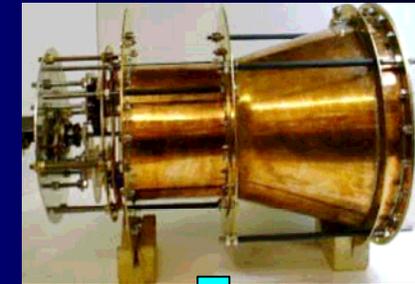
$$T = \frac{2PQ_u}{c} \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{g1}} - \frac{\lambda_d}{\sqrt{\epsilon_r} \lambda_{g3}} \right) \left( 1 - \frac{\lambda_0 \lambda_d}{\sqrt{\epsilon_r} \lambda_{g1} \lambda_{g3}} \right)^{-1} \quad \text{Equation 1.}$$

which can be simplified to

$$T = \frac{2PQ_u D}{c}$$

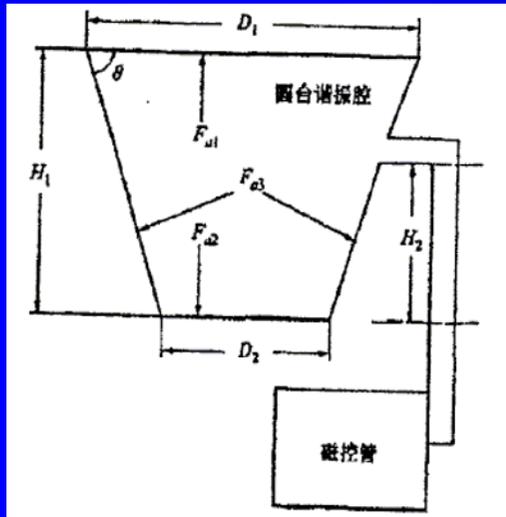
where

T = Thrust in Newtons  
 P = Power in Watts  
 Qu = Unloaded Q  
 D = Design Factor



Demonstrator Engine on Dynamic Test

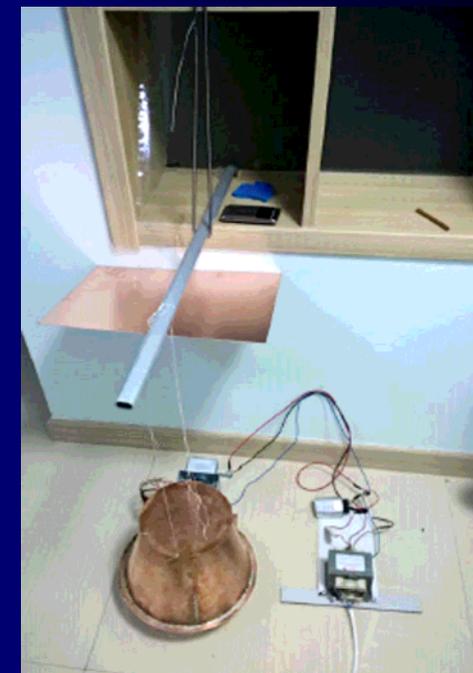
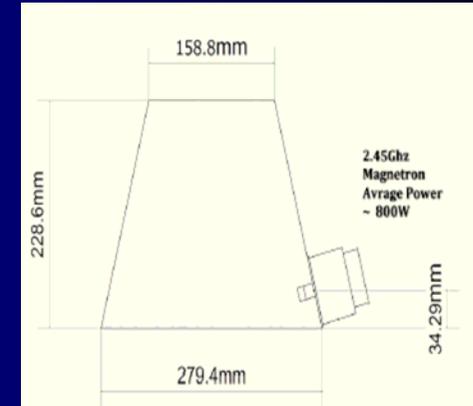
# 2. EMdrive開發動向 Roger Shawyer以降



2010 NWPU  
Juan Yang



2014 NASA  
Brady, White



2015 Iulian Berca



2015 Paul Kocyla

# 3. EMdrive開発動向 試験結果(1/2)

| Page Information  |                           |                                |                               |                        |                        |                               |                               |                                     |                                      |  |                 |                      |                                  |            |                            |
|---|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------|----------------------|----------------------------------|------------|----------------------------|
| Description   | Mode Shape <sup>[1]</sup> | Pressure (Torr) <sup>[2]</sup> | Cavity Length (m)             | big diameter (m)       | small diameter (m)     | sphrcl. r1 (m) <sup>[3]</sup> | sphrcl. r2 (m) <sup>[3]</sup> | cone 1/2 angle (deg) <sup>[3]</sup> | Shawyer Design Factor <sup>[4]</sup> | Dielectric                                   | Frequency (GHz) | Input Power (W)      | Q <sup>[5]</sup>                 | Force (mN) | Force / PowerInput (mN/kW) |
| SPR Ltd, R. Shawyer, Experimental                                 | TM01p <sup>[7]</sup>      | Ambient                        | 0.156                         | 0.16                   | 0.1025                 | 0.2828                        | 0.4414                        | 10.44                               | 0.497                                | <sup>[8]</sup> relative permittivity =38     | 2.45            | 850                  | 5900                             | 16         | 18.82                      |
| SPR Ltd, R. Shawyer, Demonstration                                | TE012 <sup>[7]</sup>      | Ambient                        | 0.317 to 0.187 <sup>[9]</sup> | 0.28                   | 0.14921                | 0.2260                        | 0.4241                        | 19.28                               | 0.844                                | None   | 2.45            | 421-1200             | 45000                            | 102.30     | 80-243                     |
| SPR Ltd, R. Shawyer, Flight Thruster (Boeing project)             | TE013 <sup>[10]</sup>     | Ambient                        | 0.1386 <sup>[10]</sup>        | 0.2314 <sup>[10]</sup> | 0.1257 <sup>[10]</sup> | 0.1764                        | 0.3247                        | 20.87                               | 0.635 <sup>[10]</sup>                | None   | 3.85            | 426 (for Max. Force) | 50,000 to 60,000 <sup>[11]</sup> | Max=174    | 235-408, Mean=326          |
| NASA Brady, White, March, Lawrence, and Davies, a <sup>[12]</sup> | TM212 <sup>[13]</sup>     | Ambient                        | 0.2286                        | 0.2794                 | 0.15875                | 0.3111                        | 0.5475                        | 14.78                               |                                      | extruded HDPE relative permitt. =2.26@1-3GHz | 1.9326          | 16.9                 | 7320                             | 0.0912     | 5.40                       |
| NASA Brady, White, March, Lawrence, and Davies, b <sup>[12]</sup> | TM212 <sup>[13]</sup>     | Ambient                        | 0.2286                        | 0.2794                 | 0.15875                | 0.3111                        | 0.5475                        | 14.78                               |                                      | extruded HDPE relative permitt. =2.26@1-3GHz | 1.9367          | 16.7                 | 18100                            | 0.0501     | 3.00                       |

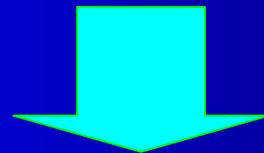
Emdrive wiki Experimental Result より引用

# 4. EMdrive開発動向 試験結果(2/2)

| Description   | Mode Shape <sup>[1]</sup> | Pressure (Torr) <sup>[2]</sup> | Cavity Length (m) | big diameter (m) | small diameter (m) | sphrcl. r1 (m) <sup>[3]</sup> | sphrcl. r2 (m) <sup>[3]</sup> | cone 1/2 angle (deg) <sup>[3]</sup> | Shawyer Design Factor <sup>[4]</sup> | Dielectric                                   | Frequency (GHz) | Input Power (W) | Q <sup>[5]</sup>     | Force (mN) | Force / PowerInput (mN/kW) |
|---|---------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------------|-----------------|----------------------|------------|----------------------------|
| NASA Brady, White, March, Lawrence, and Davies, p.18, Section IV.F <sup>[12]</sup><br><sup>[14]</sup>             | TE012                     | Ambient                        | 0.2286            | 0.2794           | 0.15875            | 0.3111                        | 0.5475                        | 14.78                               |                                      | None   | 2.168           | 30              |                      | 0          | 0                          |
| NASA March et.al.<br><sup>[15]</sup>  | TM212                     | $5 \times 10^{-6}$             | 0.2286            | 0.2794           | 0.15875            | 0.3111                        | 0.5475                        | 14.78                               |                                      | extruded HDPE relative permitt. =2.26@1-3GHz | 1.9371          | 50              | 6726                 | 0.055      | 1.10                       |
| NASA March et.al. reversed 180 degrees<br><sup>[17]</sup> <sup>[17]</sup>   | TM212                     | $5 \times 10^{-4}$             | 0.2286            | 0.2794           | 0.15875            | 0.3111                        | 0.5475                        | 14.78                               |                                      | extruded HDPE relative permitt. =2.26@1-3GHz | 1.9372          | 35              |                      | 0.0099     | 0.283                      |
| NWPU Prof. Juan Yang et.al.<br><sup>[18]</sup> <sup>[18]</sup>  | TE012                     | Ambient                        | 0.24              | 0.247            | 0.114425           | 0.21102                       | 0.45552                       | 15.44                               |                                      | None   | 2.45            | 150             | 1531 <sup>[16]</sup> | 160        | 1070                       |
| NWPU Prof. Juan Yang et.al.<br><sup>[19]</sup> <sup>[19]</sup>  | TE012                     | Ambient                        | 0.24              | 0.247            | 0.114425           | 0.21102                       | 0.45552                       | 15.44                               |                                      | None   | 2.45            | 300             | 1531 <sup>[16]</sup> | 270        | 900                        |
| TU Dresden, Tajmar & Fiedler (2015) (torsional balance)<br><sup>[17]</sup> <sup>[17]</sup>                        | TM010                     | $4 \times 10^{-6}$             | 0.072             | 0.1082           | 0.077              | 0.1777                        | 0.2497                        | 12.51                               |                                      | None   | 2.44            | 700             | 20                   | 0.02       | 0.0286                     |
| TU Dresden, Tajmar & Fiedler (2015) (beam balance)<br><sup>[17]</sup> <sup>[17]</sup>                             | TM010                     | Ambient                        | 0.072             | 0.1082           | 0.077              | 0.1777                        | 0.2497                        | 12.51                               |                                      | None   | 2.44            | 700             | 48.8                 | 0.1145     | 0.1636                     |
| Julian Berca Tests 3 & 3.1 (averaged w/up/down directional effects subtracted)<br><sup>[18]</sup> <sup>[18]</sup> | TM212 <sup>[19]</sup>     | Ambient                        | 0.2286            | 0.2794           | 0.1588             | 0.3113                        | 0.5477                        | 14.78                               | 0.515                                | None   | 2.45            | 800             |                      | 2.3        | 2.8                        |
| Baby EM Drive, @movax (Paul Kocyla) and Jo Hinchliffe   | TE013                     | Ambient                        | 0.02437           | 0.0296           | 0.01612            | 0.03024                       | 0.05552                       | 15.46                               | 0.7311                               | None   | 24.1            | 0.04            |                      | ~ 0        | ~ 0                        |

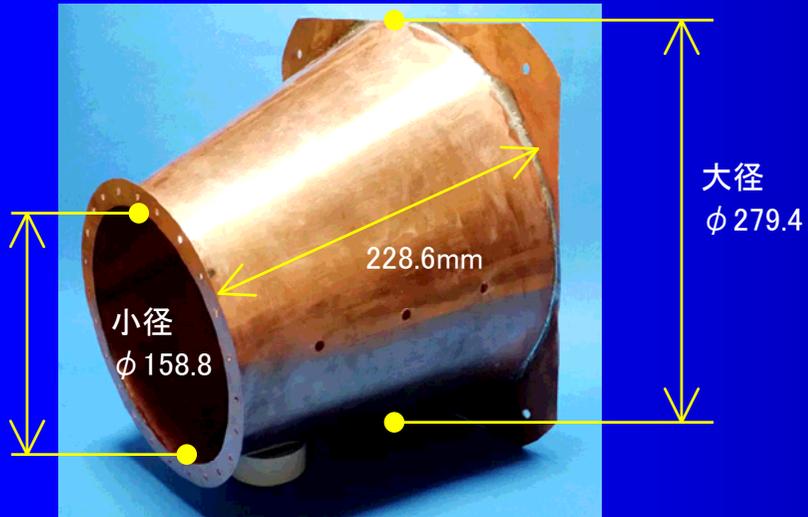
## 5. EMdriveは本物か？

- ☆マイクロ波をCavityに注入させると、本当に推力が発生するのか？
- ☆その他の物理現象を単に誤認しているだけではないのか？
- ☆Shawyerの理論通りに推力が発生するのか？
- ☆推力が確かに発生するとして、別の物理現象では説明できないのか？



**EMdriveを試作し、推力発生有無を測定し、  
現象が本物か否か、検証する**

# 6. 試作機本体構造



Cavity Type-TM212 (Cu; t0.3mm)



マイクロ波放射部  
(試験水準用SMAコネクタ3箇所)



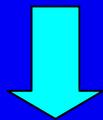
Cavity Assy (本体 + 水平取付架台)

# 7. スラストスタンドへのセットアップ

## 縦型Spring Balance式 スラストスタンド(新考案)

### <測定原理>

上部スプリングでスラスタ本体質量の大部分を支えつつ、下部電子天秤でスラスタ質量の一部を受けもたせる。



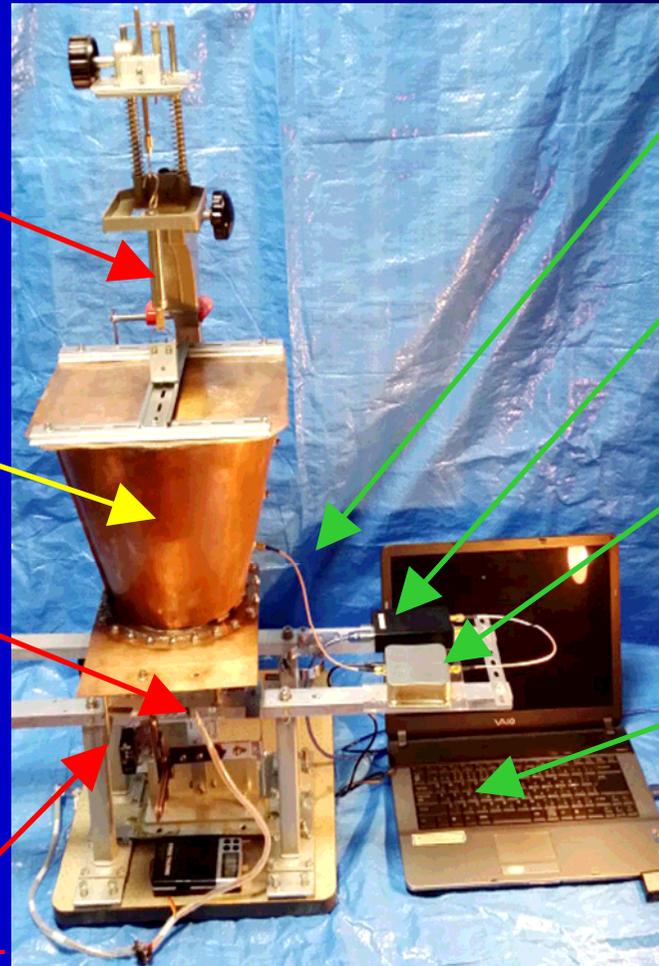
上下方向のスラストは、上部スプリングのバネ定数、電子天秤の上下方向等価バネ定数、電子天秤及び上下方向変位量測定センサーの各々の測定値から換算して求めることができる。

上部スプリング

Cavity本体

電子天秤

変位センサー



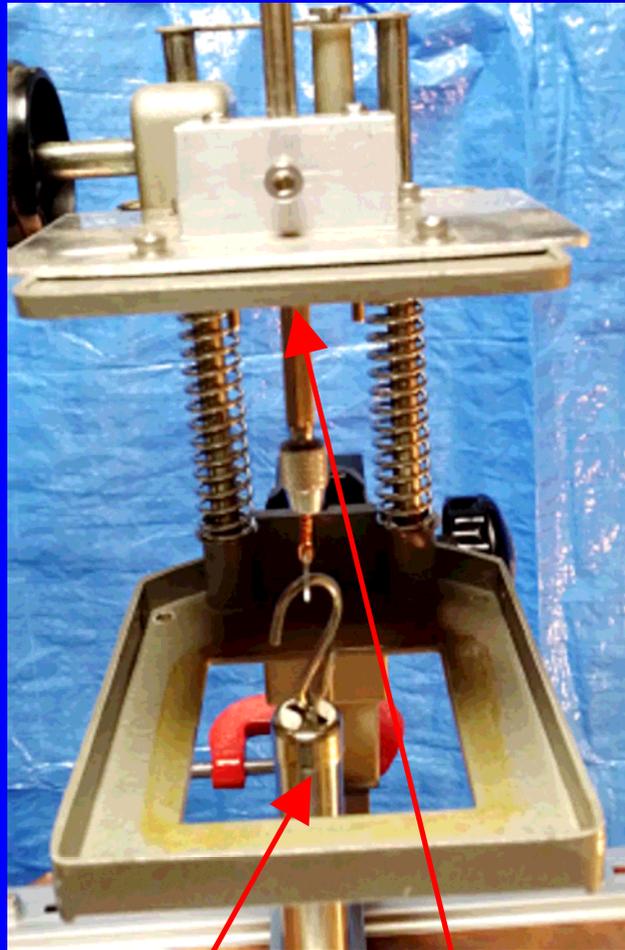
RFケーブル

2.45GHz  
マイクロ波発信器

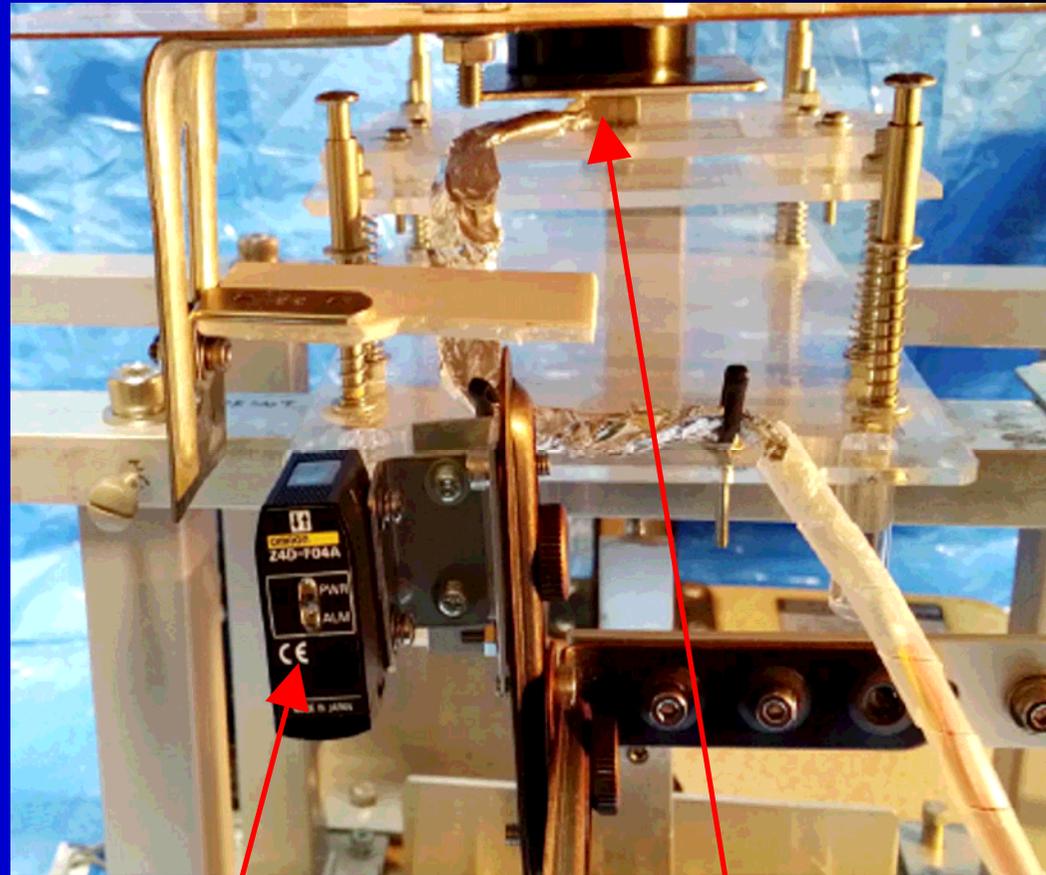
シグナルブースター

マイクロ波  
制御用PC

# 8. 各部詳細(1/2)



上部スプリング、荷重調整機構



非接触変位センサー  
・OMRON Z4D-F04  
精度5  $\mu$ m

歪ゲージ式電子天秤  
・計測範囲0~500g  
精度0.01g

# 9. 各部詳細(2/2)



SMAコネクタ、RFケーブル



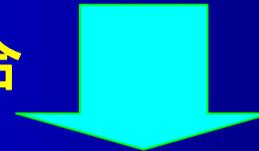
マイクロ波発信器(2.45GHzに調整)  
(ADF4350; 138MHz~4.4GHz可変)

Signal Booster  
(EP-AB003; 8Wアンプ)

# 10. 今後の予定

- ① 縦型Spring Balance式スラストスタンドでの推力測定
- ↓
- ② 横型Torsion Balance式スラストスタンドでの推力測定
- ↓
- ③ データ分析、有意性の検証(①、②で鉛直、水平差異確認)

有意性が認められる場合



- ④ 入力パワーを増大(数100W級マグネトロン式、半導体式他機器による)させ、推力を測定 ・・ 理論値との突合せ
- ↓
- ⑤ 独立システム化(Cavity、電源・発信器・制御系一体)を図り、推力測定 ・・ 測定系の影響を排除する