

1m級MSBSを利用した自動車 非定常空力実験の提案

2013/8/30

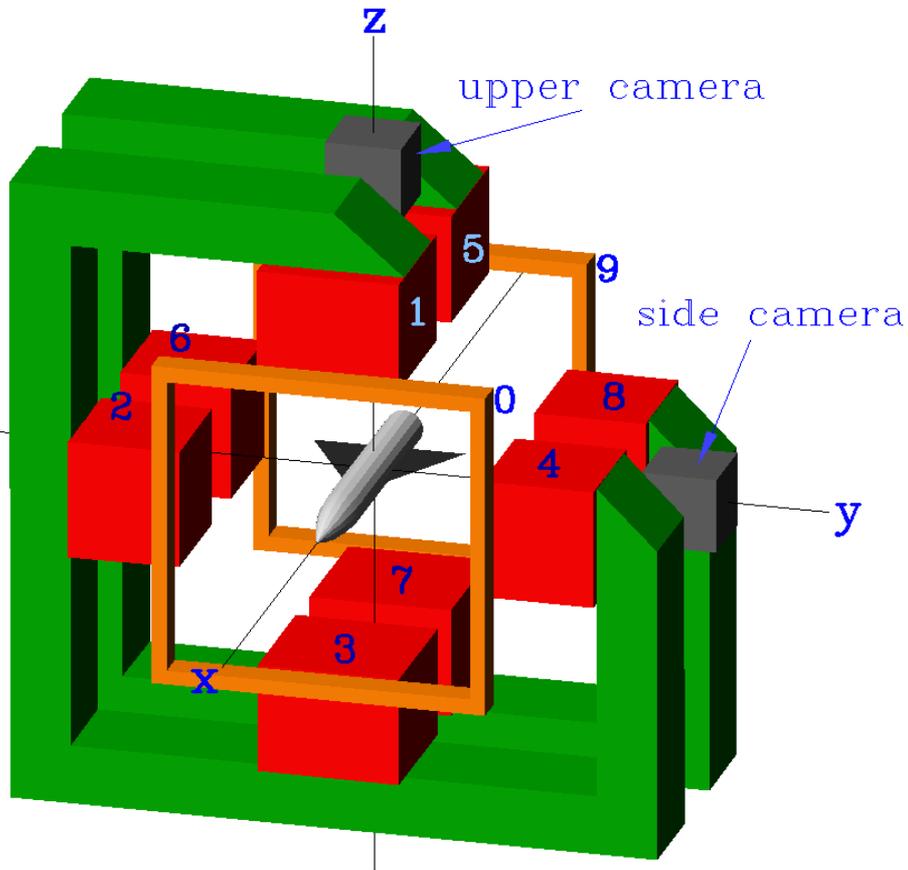
東北大学東京分室

流体科学研究所

次世代流動実験センター共用リエゾン室

澤田秀夫

1m級MSBS概容(1)



$$\mathbf{F}_{magnet} = (\mathbf{M} \cdot \nabla) \mathbf{H},$$

$$\mathbf{N}_{magnet} = \mathbf{M} \times \mathbf{H},$$

$$F_x = M_x \frac{\partial H_x}{\partial x} + M_y \frac{\partial H_x}{\partial y} + M_z \frac{\partial H_x}{\partial z},$$

$$F_y = M_x \frac{\partial H_y}{\partial x} + M_y \frac{\partial H_y}{\partial y} + M_z \frac{\partial H_y}{\partial z},$$

$$F_z = M_x \frac{\partial H_z}{\partial x} + M_y \frac{\partial H_z}{\partial y} + M_z \frac{\partial H_z}{\partial z},$$

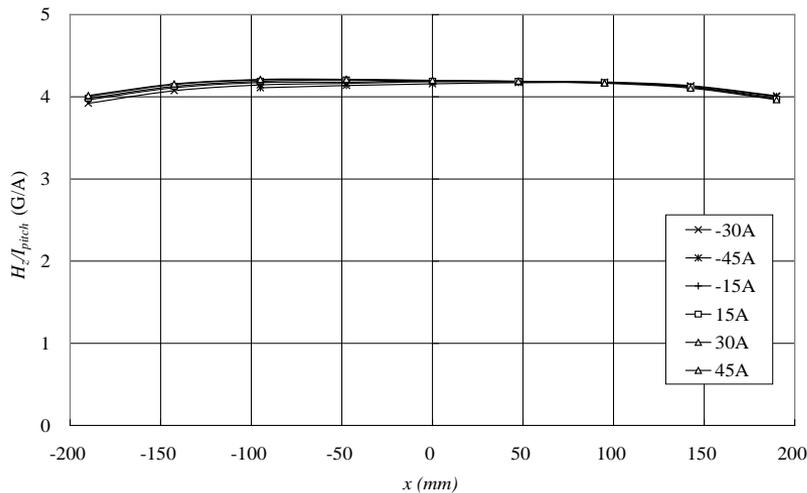
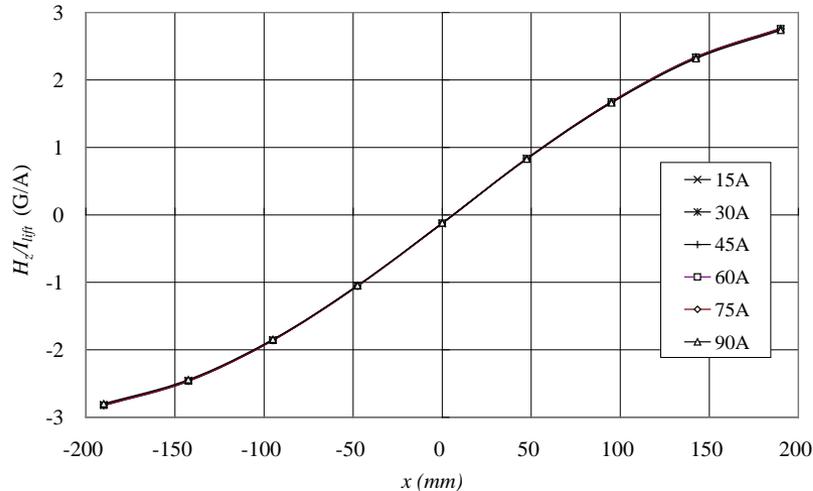
$$N_x = M_y H_z - M_z H_y,$$

$$N_y = -M_x H_z + M_z H_x,$$

$$N_z = M_x H_y - M_y H_x$$

1m級MSBS概要(2)

JAXA 60-cm MSBSの例



$$\frac{\partial H_x}{\partial x} = h_{xx} \cdot I_{drag},$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = h_{yx} \cdot I_{side},$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = h_{zx} \cdot I_{lift},$$

$$H_y = h_y \cdot I_{yaw},$$

$$H_z = h_z \cdot I_{pitch},$$

$$I_{dragt} = (I_0 + I_9) / 2,$$

$$I_{side} = (I_2 + I_4 + I_6 + I_8) / 4,$$

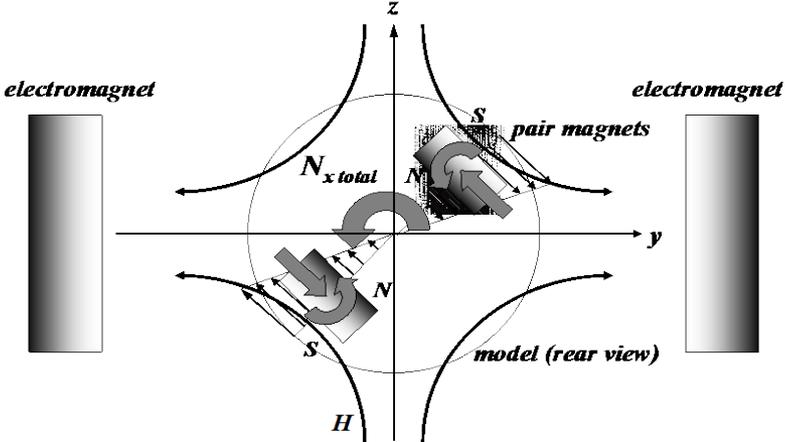
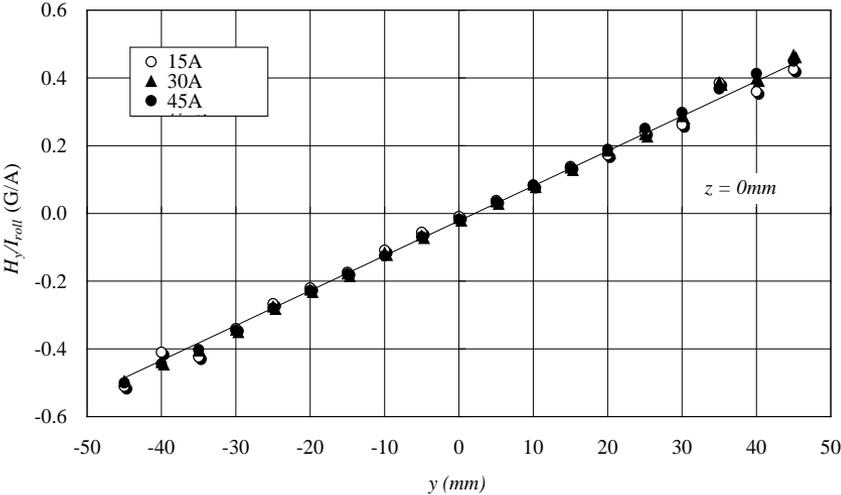
$$I_{lift} = (I_1 + I_3 + I_5 + I_7) / 4,$$

$$I_{yaw} = (I_2 + I_4 - I_6 - I_8) / 4,$$

$$I_{pitch} = (I_1 + I_3 - I_5 - I_7) / 4.$$

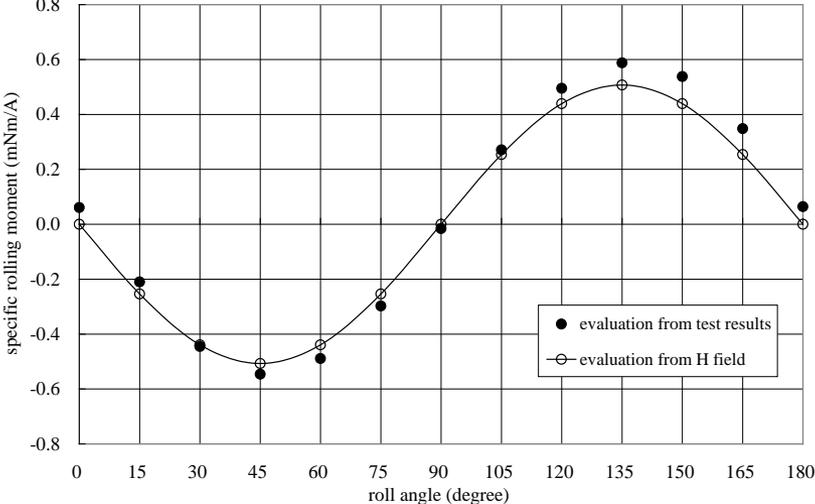
横揺れモーメント発生原理

JAXA 60-cm MSBSの例



$$\frac{N_x}{I_{roll}} = M_{pair} \cdot r \cdot (-p + q) \cdot \sin 2\phi$$

$$p = h_{yy}, \quad q = h_{zz}$$



JAXAに於ける自動車模型を用いた試験例

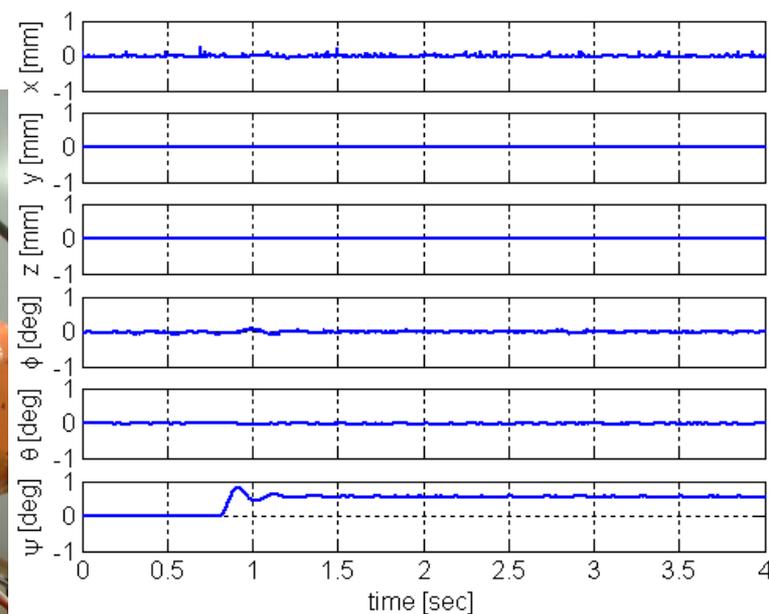
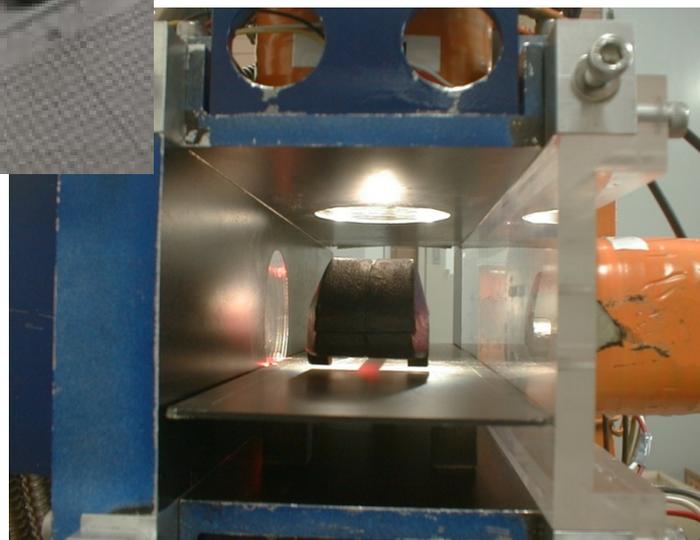
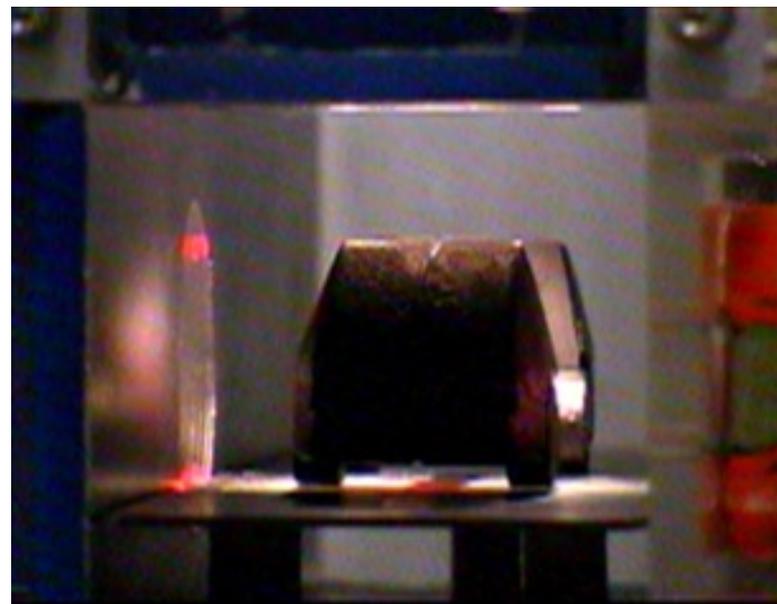
10cm角測定部に幅37mmのボックス型自動車模型を磁力支持し、自動車の風洞試験でもMSBSを利用できる可能性を示した。

自動車模型(ボックスタイプ)

寸法:幅37mm、長さ125mm、高さ27mm

磁石:20φ×80 1本 Nd磁石

補助磁石:6φ×5 8個 Nd磁石



自動車模型

Ahmed model:

length:0.5075, width:0.1891, height:0.140 (m)

clearance:0.01344m

mass: 10.8 kg, I_{xx} : 0.024 kgm², I_{yy} : 0.120kgm²

GC: 6.1mm downstream

at 40 m/s, drag:9.2N (drag coil current:30A)

lift coil current: 81 A

Re:1.25E6 (0.504m)

$$h_{xx} = 3.54 \text{ G/m/A}$$

$$h_{yx} = 7.34 \text{ G/m/A}$$

$$h_{zx} = 13.70 \text{ G/m/A}$$

$$h_{yy} = -0.0070 \text{ G/m/A}$$

$$h_{zz} = 0.0054 \text{ G/m/A}$$

$$h_y = 1.59 \text{ G/A}$$

$$h_z = 2.98 \text{ G/A}$$

主磁石: 65φ × 260、ネオジウム磁石、N54

フル着磁状態の磁気モーメント: 1.20×10^{-3}

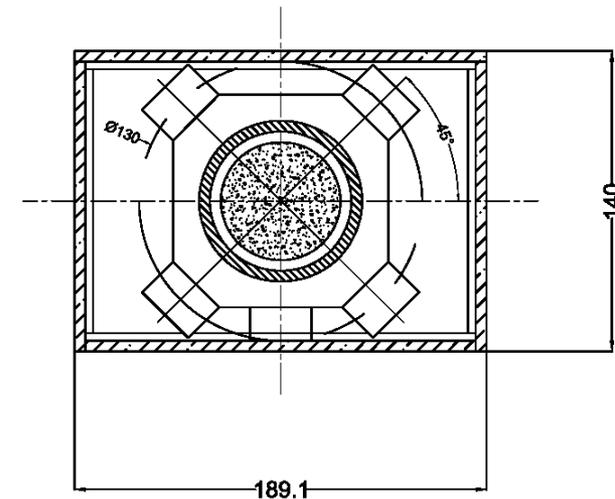
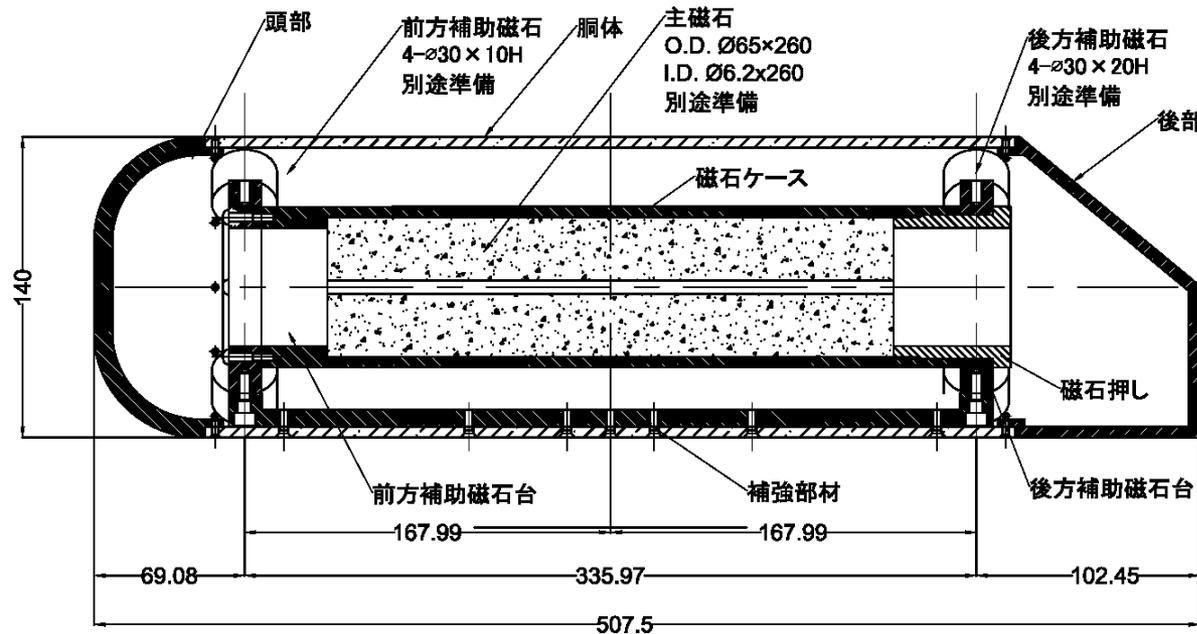
補助磁石: 30φ × 4φ × 20、ネオジウム磁石、N40

フル着磁状態の磁気モーメント: 1.44×10^{-5}

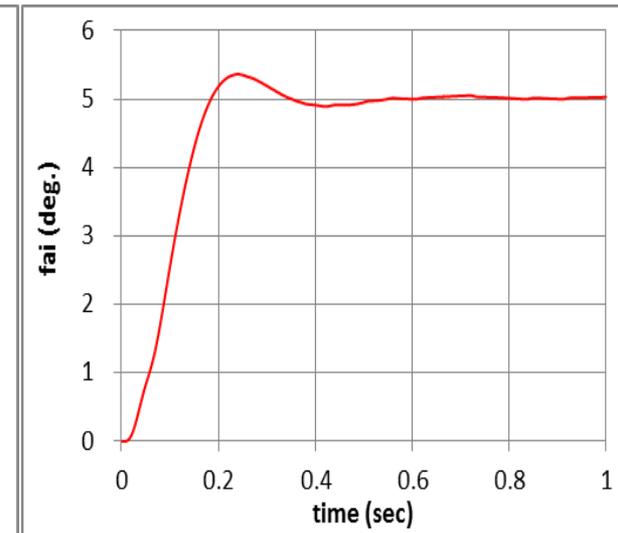
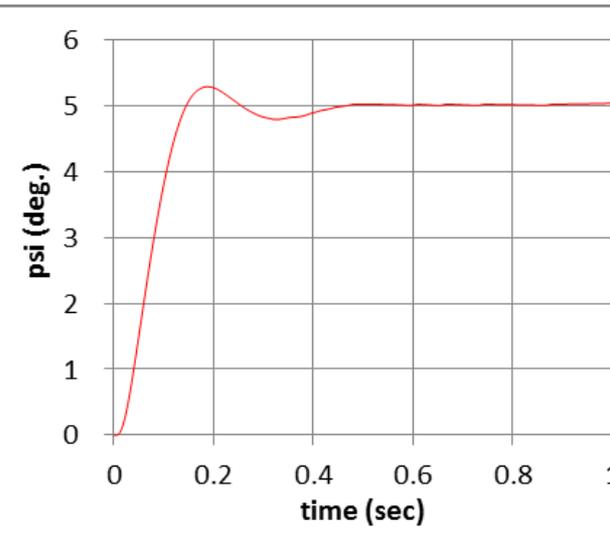
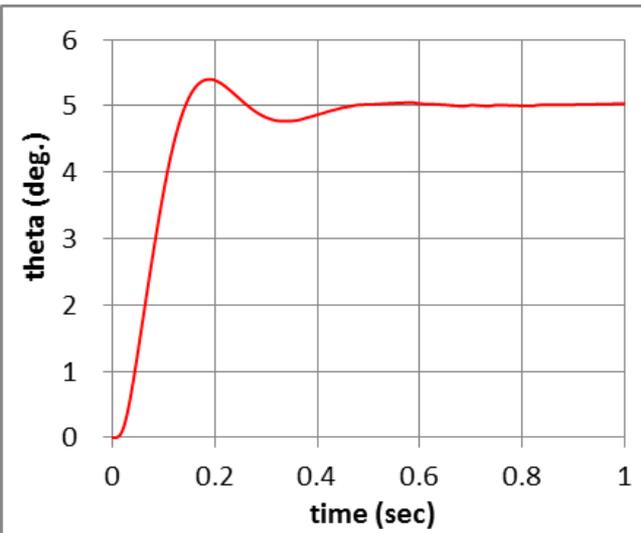
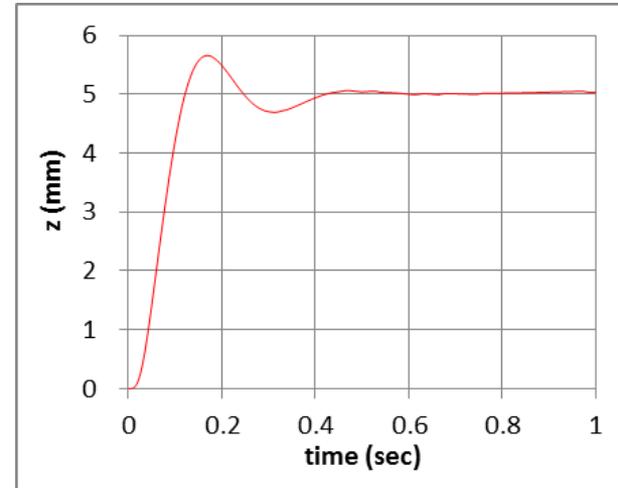
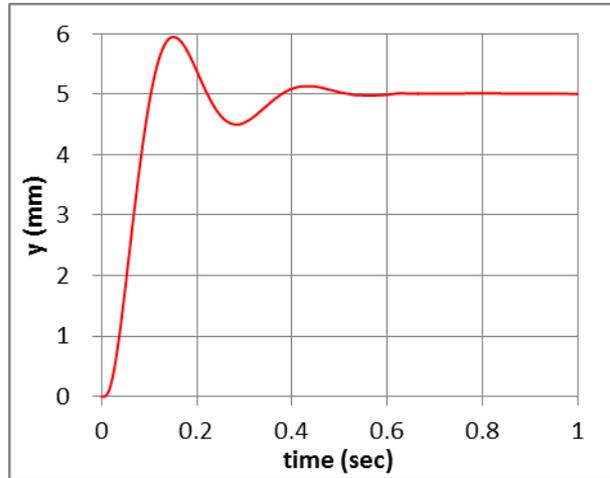
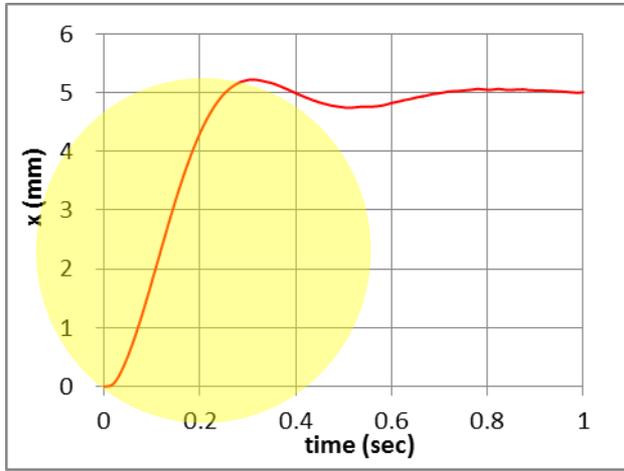
$$L_{drag} = 162 \text{ mH}, M_{drag} = 0$$

$$L_{lift} = 154 \text{ mH}, M_{drag} = 154 \text{ mH}$$

$$L_{side} = 40 \text{ mH}, M_{drag} = 40 \text{ mH}$$



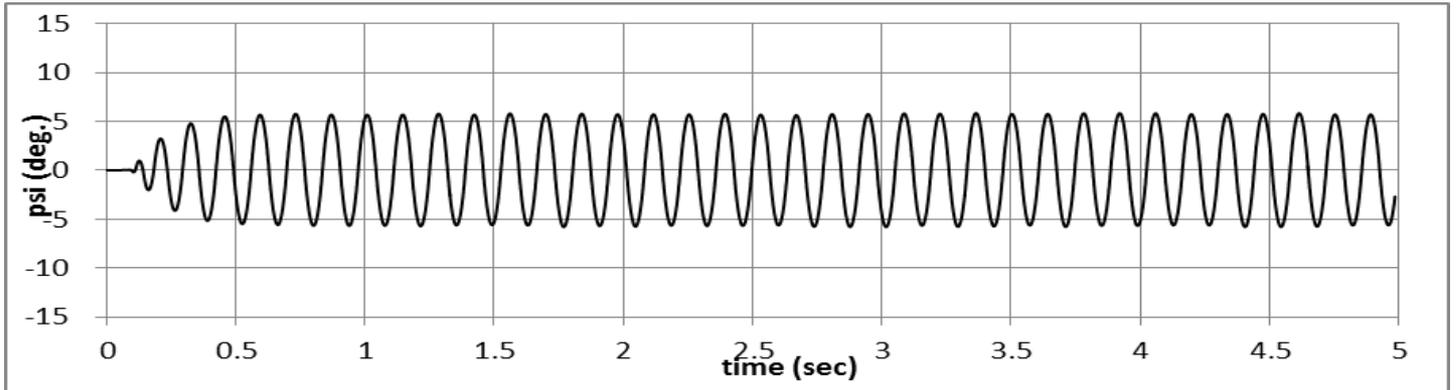
自動車模型のステップ応答 シミュレーション結果



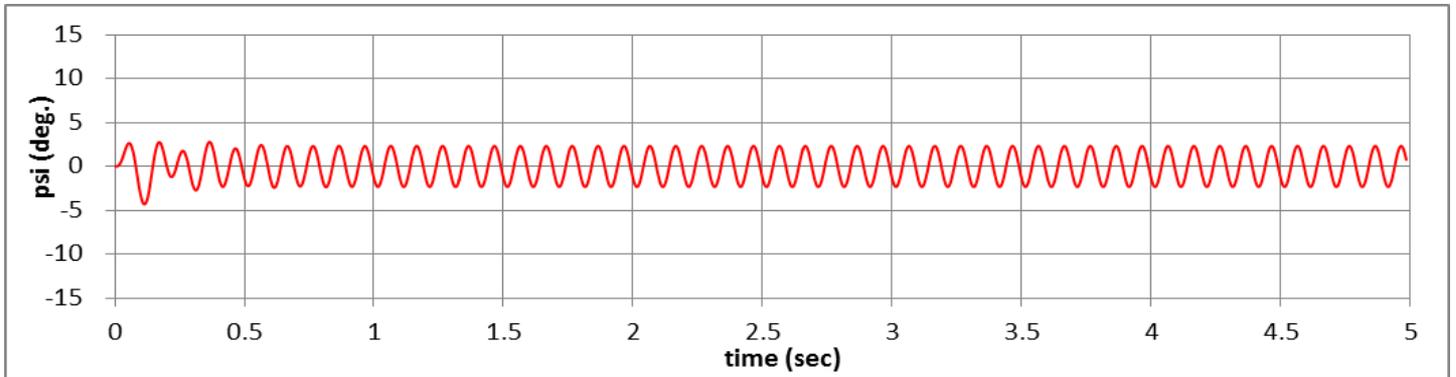
h_{xx} の大きさに比してmassが大き過ぎる。コイルインダクタンスが大き過ぎる。: 162mH

偏揺れ振動の試験例

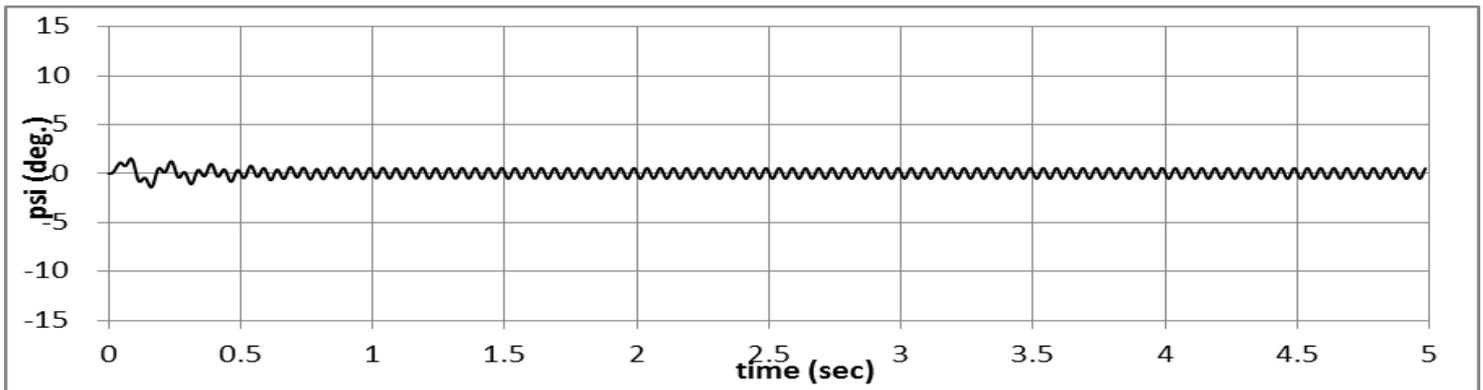
共振モード
7Hz, $\pm 5.8^\circ$



加振モード
10Hz, $\pm 2.3^\circ$



加振モード
20Hz, $\pm 0.5^\circ$



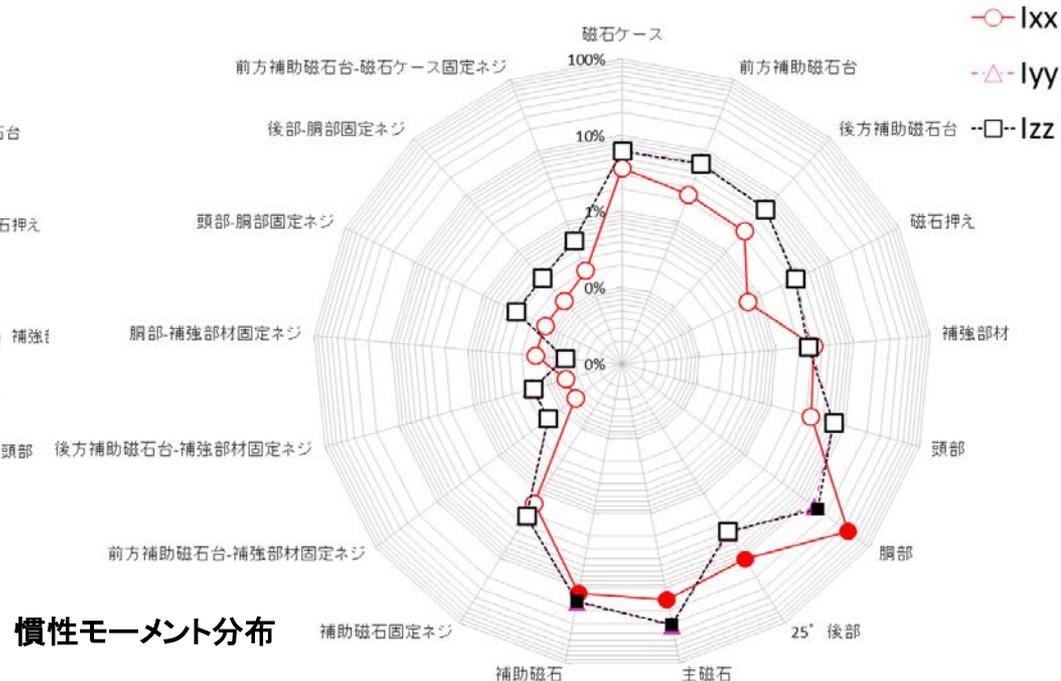
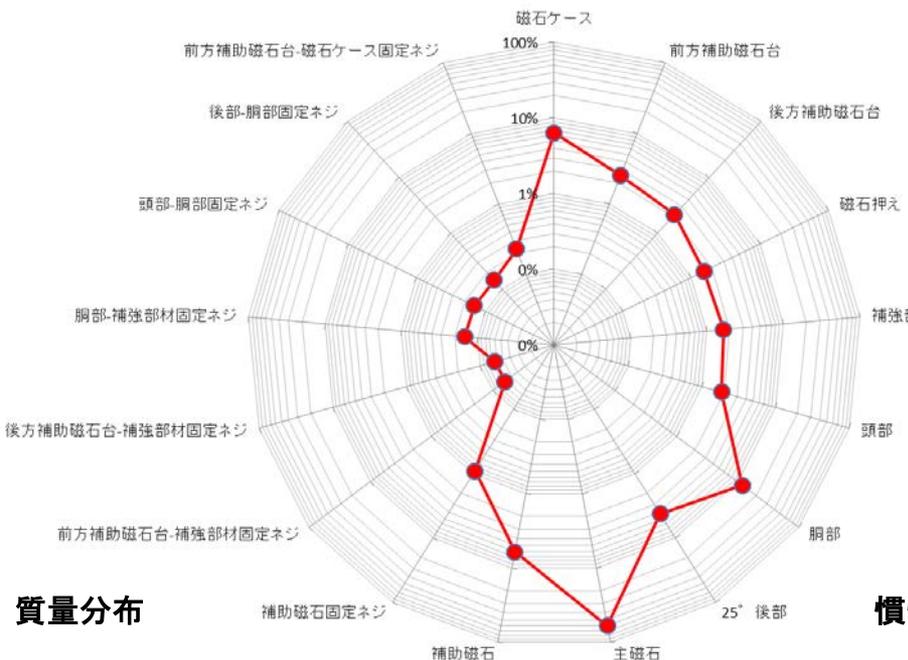
現状と対策

現状:

- 質量では、磁石が約60%、胴部が約15%をしめている。
- x軸周りの慣性モーメントでは胴部が約50%を占めている。
- y軸、z軸周りの慣性モーメントでは主磁石が約33%を占める。胴部も15%を占めている。

対策:

- 磁石の体積を維持して、慣性モーメントが小さい形状を選ぶ。
- 胴部の材質をより軽量なものに変更する。
 - アクリル樹脂(比重1.24) ⇒ TPX材(ポリメチルペンテン樹脂、比重0.83)
- 他部材総ての軽量化を図る
 - 樹脂製部分の肉厚を薄くする(3次元印刷機の活用)



主磁石:細長比1 ⇒ 直径103mm磁石へ変更

z軸周り慣性モーメント⇒元の値の26.3%へ

胴部材質TPXへ変更⇒z軸周り慣性モーメント⇒元の値の66.9%へ

頭部、胴部を3次元印刷機で薄く製作⇒z軸周り慣性モーメント⇒元の値の60.0%へ

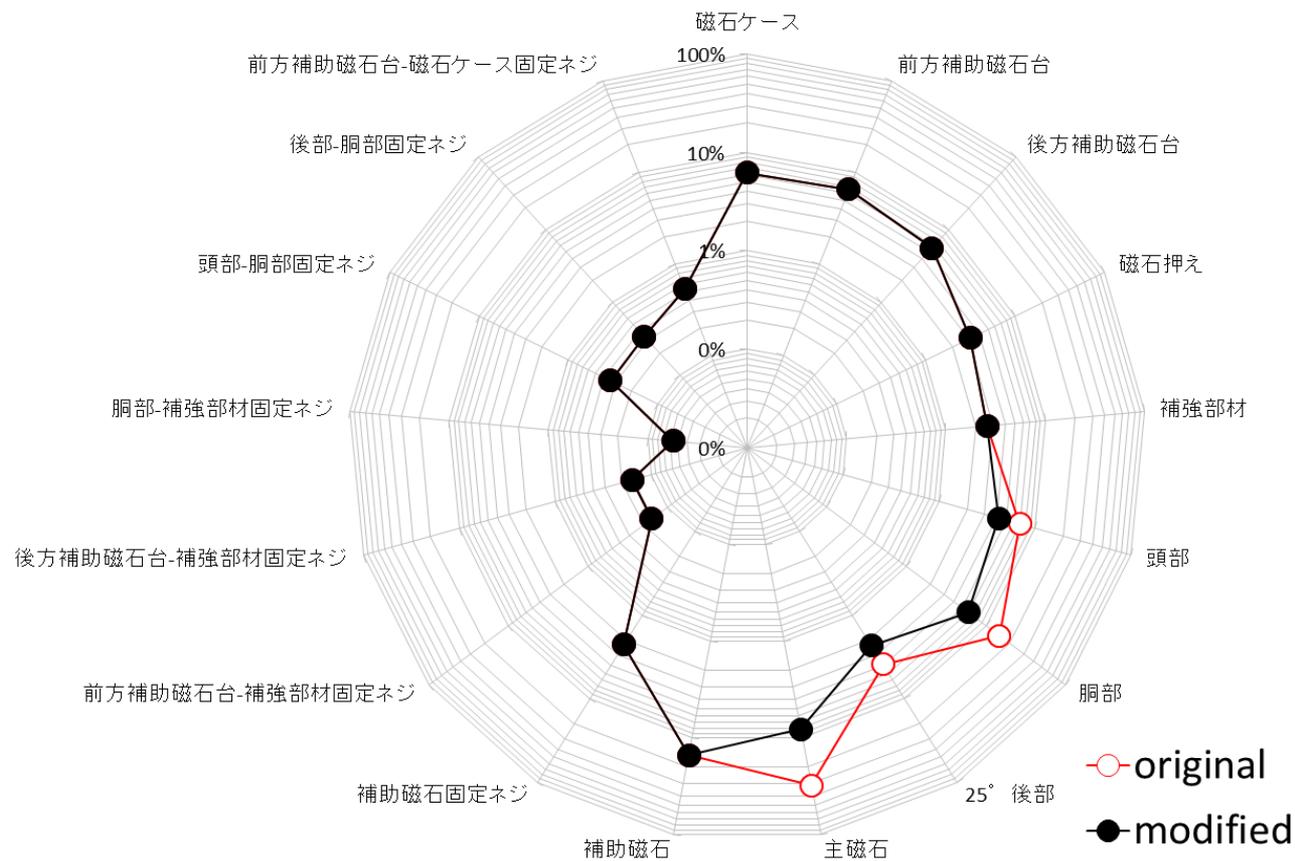


z軸周り慣性モーメントは元の62%へ

質量は元の90%へ

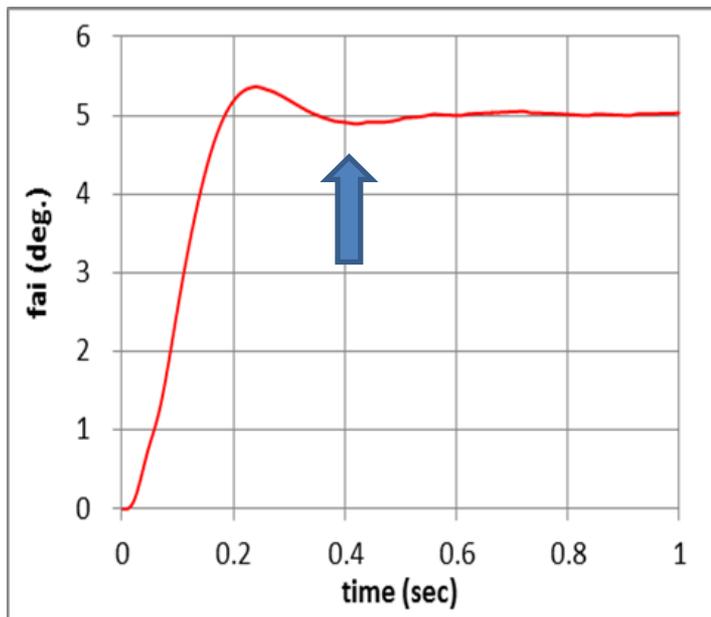
更なる対策:

- 磁石台の軽量化
- 補助磁石の最適化
- 模型の小型化
- 主磁石の大型化



慣性モーメント分布

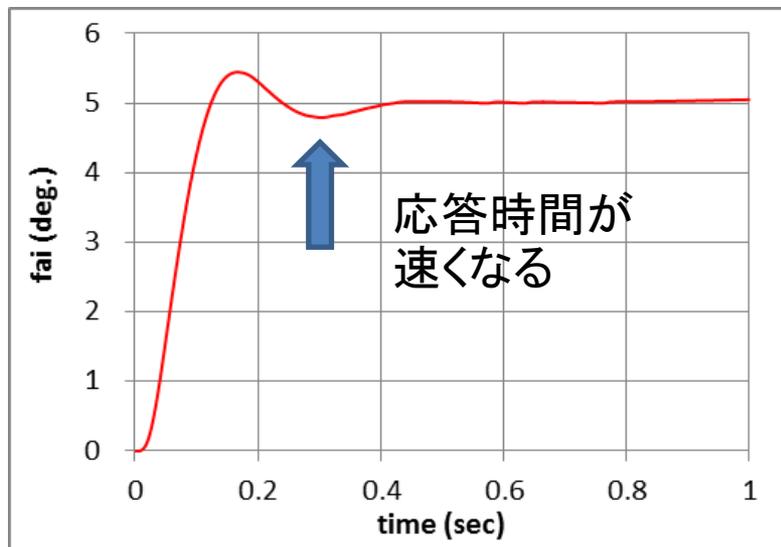
x軸周りの慣性モーメント小さくする



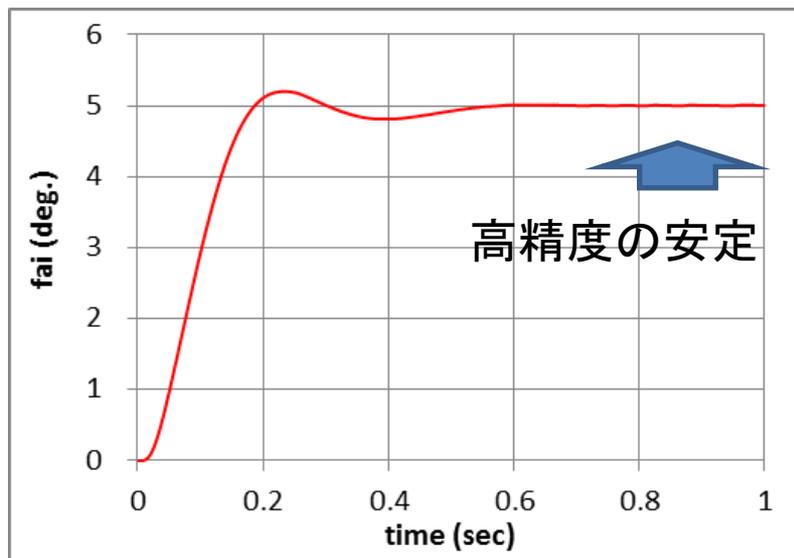
$I_{xx} *$
62%

$\Delta\phi:$
1/2

分解能を上げる

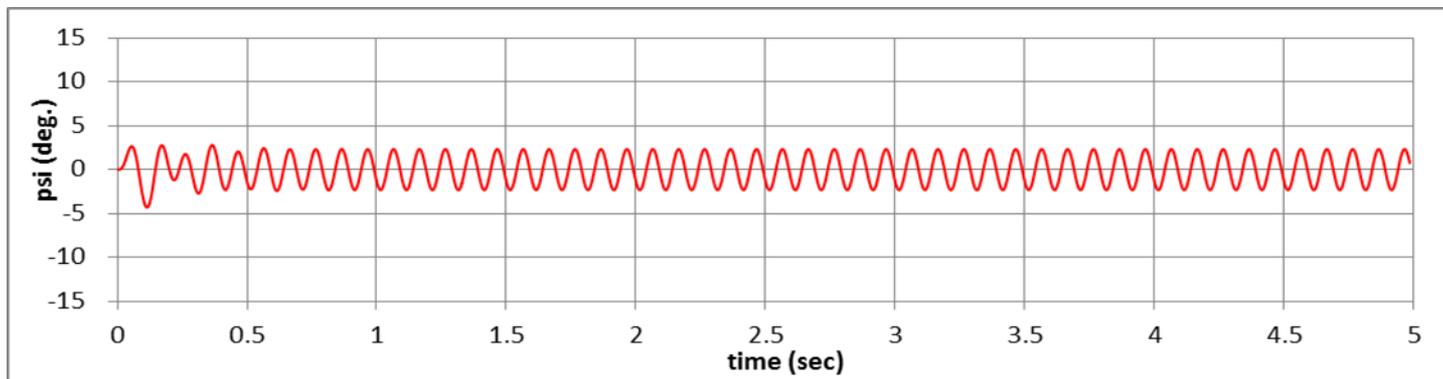


応答時間が
速くなる

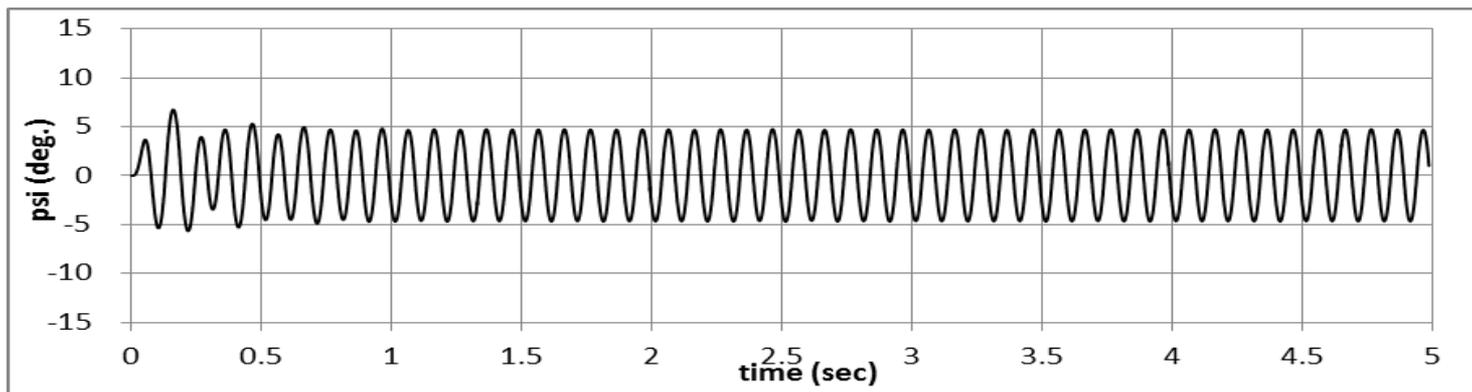


高精度の安定

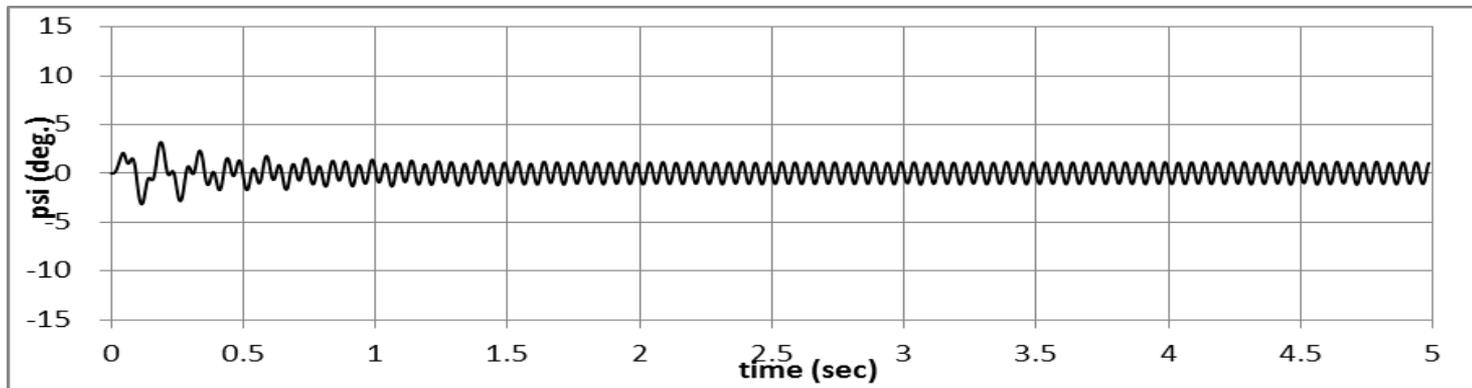
対策前
加振モード
10Hz, $\pm 2.3^\circ$



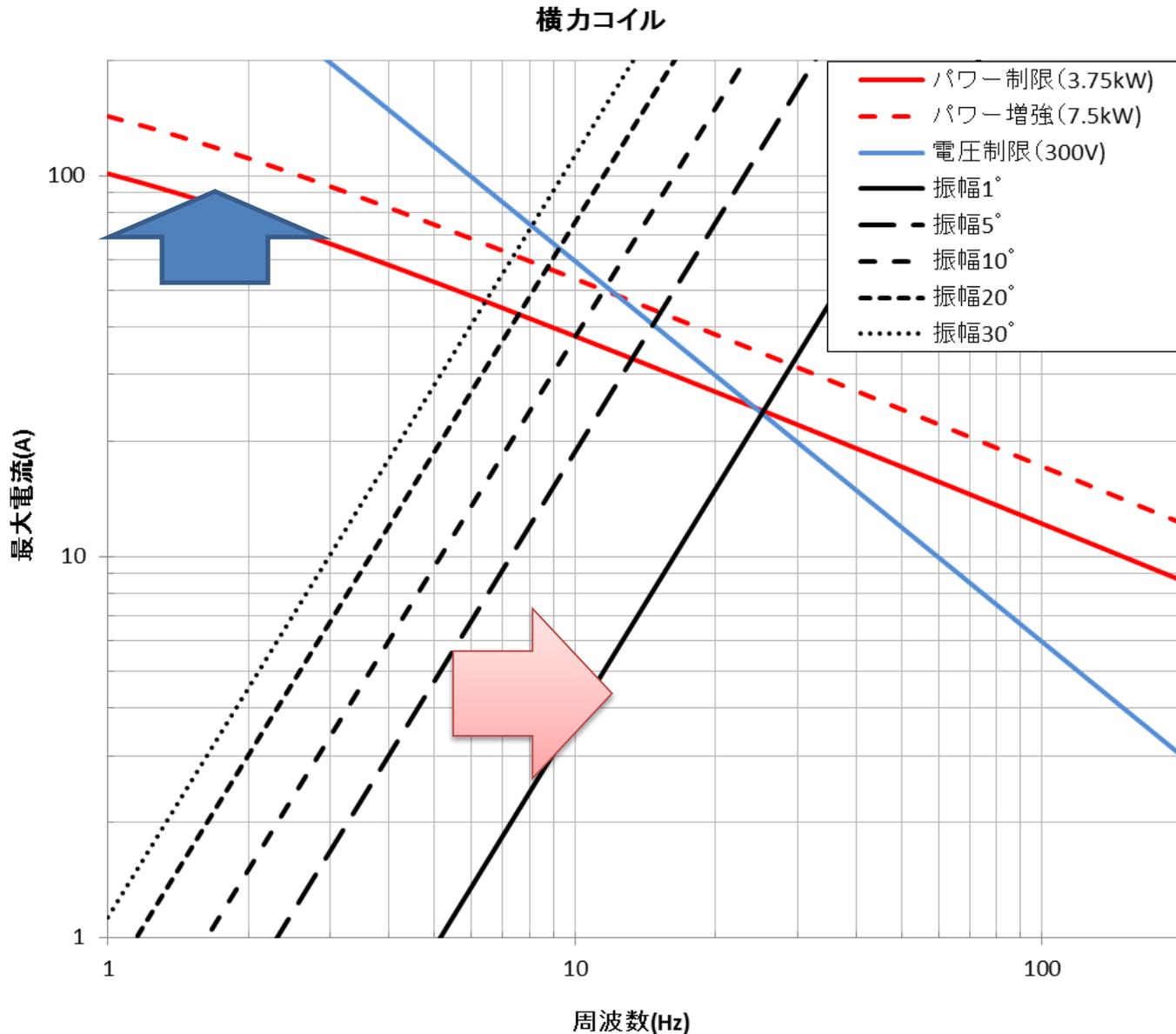
対策後
加振モード
10Hz, $\pm 4.7^\circ$
注意: パワーオーバー



対策後
加振モード
20Hz, $\pm 1.1^\circ$
注意: パワーオーバー



非定常試験への展望



10Hz以下の振動試験で十分ならば、

- 直流電源の倍増で、試験可能範囲は広がる。

20Hz以上の試験が必須ならば、

- 模型の小型化
- コイルの分割駆動を考える必要が有る。

$$I_0 = \frac{I_{zz}}{h_y} \psi_0 \omega^2$$

センサー較正法 & 安全な力計測法

安全(作業員が):

- 磁場に曝されない。
- 模型浮揚中に模型に近付かずに済む
- 把持装置で模型設置可能にした

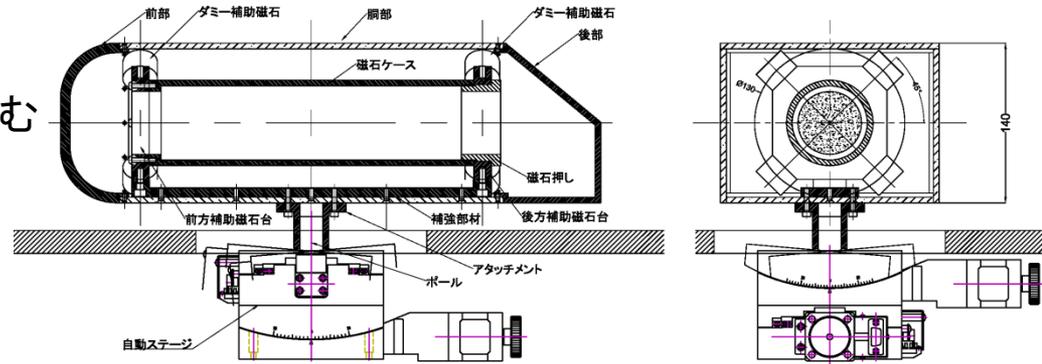
課題:

1. 照明方法
 - 模型下部からの照明不可
 - 水平方向窓を利用
2. 地面板が作業性を落とす
3. 天秤精度以内の計測
4. 天秤の腕が長い(0.607m)
 $U < 33 \text{ m/s}$

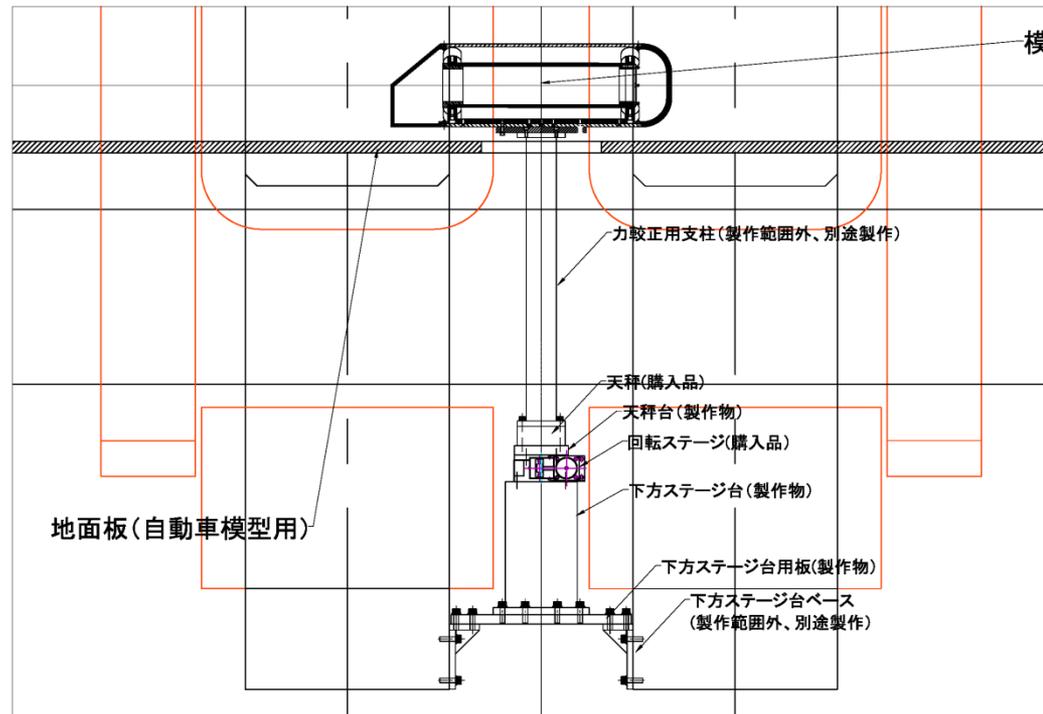


対策:

1. 専用の照明機器を用意
2. 専用の地面板を用意
3. 直接の力較正
 - 較正ケース数を制限
4. 天秤への磁場の影響評価
 天秤を測定部中に置く



名称: センサー較正試験時の組立図



まとめ

- 磁力支持可能なAhmed模型を設計できた。
- 偏揺れ振動の可能性について調べた。
 - 総てのコイルで、インダクタンスが多きい影響が出ている。
 - 模型の軽量化、慣性モーメントの低減が求められる。
 - 初期設計模型では、振幅6度、7Hz程度が限界
 - 主磁石形状、模型要素の修正と直流電源の30kW化により、
 - 振幅5° 10Hz程度、
 - 振幅1° 20Hz程度までは実現可能性が有る。
 - 更に、速い運動、大きな振動は模型の大きさ、磁石の大きさを変更した対策が必要。
 - 現状では、作業員の安全の観点から、磁石の体積を増やすことはしない。
 - 模型の大きさを小さくする方向で、対応する。
- 良い制御には更にセンサー分解能を上げる必要が有る。
- 安全な模型設置法、力評価法を提案した。
- センサー較正では、照明法について対策を講じる必要が有る。

風洞内設置要領

