

IoT 機器開発に有効な筐体構造等解析技術研究

八塚直紀 菊地敏夫*¹ 西尾俊文 明賀久弥Research on Analysis Technology of Effective Housing Structure
for IoT Device Development

YATSUZUKA Naoki ,KIKUCHI Toshio and NISHIO Toshihumi and MYOUGA Hisaya

本研究では、IoT 機器筐体をモデルとし、3D 設計解析ソフトを用いた剛性解析、固有値解析、電磁界解析を行った。剛性解析と固有値解析においては、シミュレーションと実測の比較を行った。

その結果、剛性解析では、ボルト及び部品間の摩擦を考慮した解析の場合、ボルトの締付けトルク、トルク係数の影響を受けるが、実測値によく似た傾向を示した。ボルト等の影響を排除した解析条件でシミュレーション値と実測値を概ね一致することができた。固有値解析では、シミュレーション値と実測値共に 1 次モードの固有振動数は 400Hz 台にあることを確認した。電磁界解析では、メイン基板に対して逆 F 型アンテナを垂直に配置することにより、アンテナ性能を確保できることが分かった。

キーワード：シミュレーション、IoT 機器筐体、剛性解析、固有値解析、電磁界解析

はじめに

あらゆるモノをインターネットに接続する IoT は、今後、急速に普及する見込みであり、新たなサービスの提供などによる市場の拡大が期待されている。一方、IoT 機器は、軽量化が望まれており、多品種少量生産の開発は、設計、試作・評価を繰り返すために多くの時間やコストがかかっていた。このため、試作回数を削減し、開発期間の短縮やコスト低減が可能となるシミュレーション技術は重要視されている。

そこで、本研究では、IoT 機器筐体をモデルとし、3D 設計解析ソフトを用いた各種シミュレーションと実証実験を行ったので報告する。

実験方法

1. IoT 機器筐体モデルの剛性解析と実証実験

(1)有限要素法(FEM)による剛性解析

剛性解析には、3D 設計解析ソフト(Dassault Systemes SolidWorks 製 SolidWorks2014)を用いた。解析モデルを図 1 に示す。解析モデルは、約 150mm×90mm×厚さ 45mm の IoT 機器筐体で、筐体上部は ABS 樹脂、下部はエラストマーで構成されている。剛性解析は、表 1 の材料物性値を用い、底面を固定し、図 1 に示す荷重部(φ10mm)に荷重を加え、変位シミュレーションを行った。要素・節点について表 2 に示す。解析条件として、上下部品の四隅の 4 箇所を M3 ボルトで固定し部品間の摩擦を考慮した場合と上下部品を完全に固定した 2 パターンの解析を行った。

表 1 材料物性値

材料	弾性率 (MPa)	ポアソン比	密度 (g/cm ³)
ABS 樹脂	2,100	0.35	1.05
エラストマー	300	0.40	0.88

荷重部

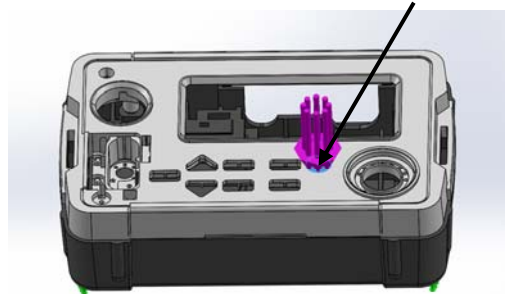


図 1 解析モデル

表 2 要素・節点

要素タイプ	四面体二次要素
要素数	約 88,500
節点数	約 165,000

* 1 (現)産業創出課

この研究は、「IoT 機器開発に有効な筐体構造等解析技術研究」の予算で実施した。

(2)実証実験

シミュレーション結果の実証のために、IoT 機器筐体モデルの解析と同等な条件となるように実験を行った。底面を両面テープで固定し、オートグラフ（(株)島津製作所製 AG-100kNXPlus）を用いて治具で荷重を加えた際の変位を測定した（写真1）。なお、実験は、上下部品の四隅の4箇所を M3 ボルトのみで固定した場合と上下部品の四隅の4箇所を M3 ボルト固定し、上下部品の接触部を接着剤で固定した場合の2パターンの実験を行った。

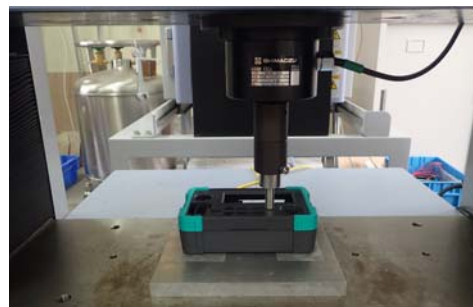


写真1 実験の様子

2. IoT 機器筐体モデルの固有値解析と実証実験

(1)有限要素法(FEM)による固有値解析

図1の解析モデルの底面を固定し固有値解析を行い、固有振動数と変形形状を求めた。SolidWorks2014での固有値解析は、上下部品間の摩擦を考慮した解析はできないため、上下部品を完全に固定した条件で解析を行った。

(2)実証実験

振動試験装置(IMV(株)製 Syn-3HA-40)を用いて、表3に示す試験条件で共振点探査試験を行った。試験体の底面を両面テープで固定し、加速度ピックアップセンサを瞬間接着剤で取り付けて固有振動数を測定した（写真2）。

表3 試験条件

周波数(Hz)	10~500
加速度(G)	1
加振方向	垂直

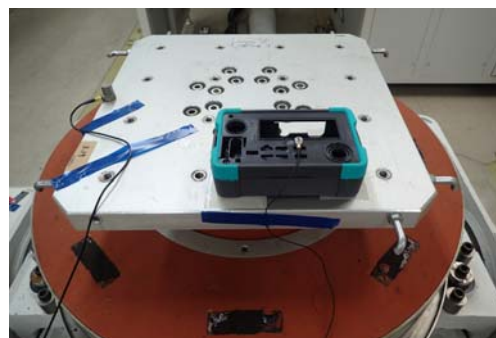


写真2 共振点探査試験

3. IoT 機器筐体モデルの電磁界解析

電磁界解析には MW STUDIO 2010（独 CST 社製）を用いた。メイン基板を模した裏面全 GND 基板を筐体内底部に配置した状態で、文献¹⁾を参考に設計した IoT 機器筐体用小型アンテナを筐体内に配置して電磁界解析を行った（図2）。アンテナ配置については、メイン基板に対して平行と垂直に配置してターゲット周波数域での電界強度分布及び VSWR(電圧定在波比)の変化を解析した。

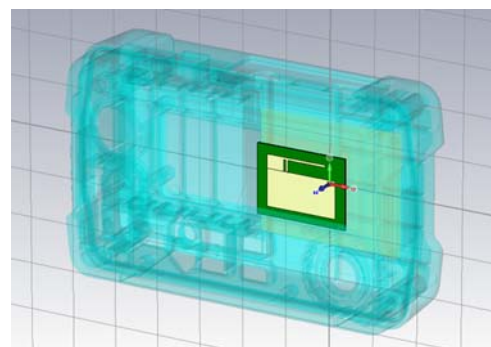


図2 解析モデル

結果と考察

1. IoT 機器筐体モデルの剛性解析と実証実験

(1)有限要素法(FEM)による剛性解析

解析の例として IoT 機器筐体に荷重 100N を加えた際の変位シミュレーション結果を図3に示す。図3に示すように X・Y 軸平面に対して垂直な Z 軸方向の変位量を解析した。解析結果から荷重部(φ10mm)付近には、変位量に傾斜が認められた。



図3 変位解析結果

(2)実証実験

上下部品をボルトのみで固定し部品間の摩擦を考慮した場合のシミュレーション値と実測値を比較した結果を図4に示す。解析のボルト固定は M3 ボルトの標準締付けトルク $0.630\text{N}\cdot\text{m}$ 、上下部品間の摩擦係数を 0.3 と仮定した。ボルトと樹脂部品間の摩擦に関するトルク係数はボルトの表面粗さや潤滑剤などにより、0.14 から 0.26 程度の範囲²⁾で変化するため、平均値の 0.2 とした。図4の比較結果からシミュレーション値と実測値は、よく似た傾向を示している。

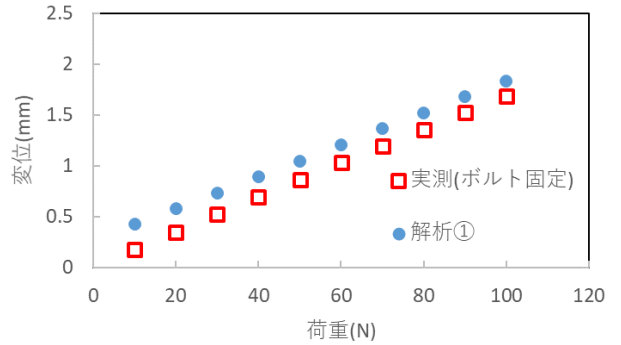


図4 上下部品にボルト固定を用いた比較結果

解析におけるボルト等の影響を確認するため、上下部品間の摩擦係数、ボルトの締付けトルク及びトルク係数を変えてシミュレーションを行った。上下部品間の摩擦係数を 0.1、0.3、0.5 と変えた解析結果を図5に示す。その結果、変位量にほとんど差はなく摩擦係数による影響は少ないことが確認された。次に、トルク係数と締付けトルクを変えたシミュレーションと実測値の結果を図6に示す。表4に解析条件を示す。トルク係数を 0.20 から 0.26 へ大きくすると、シミュレーション値がわずかに小さくなり実測値に近づく傾向がみられた。また、締付けトルクを $0.630\text{N}\cdot\text{m}$ から M2 ボルトの $0.176\text{N}\cdot\text{m}$ へ小さくすると、シミュレーション値は実測値と概ね一致した。

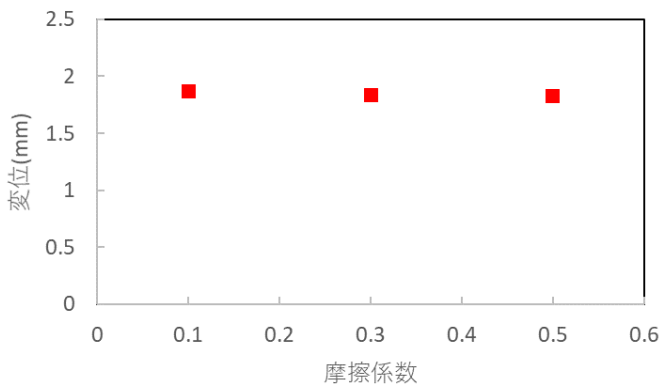


図5 摩擦係数変更結果

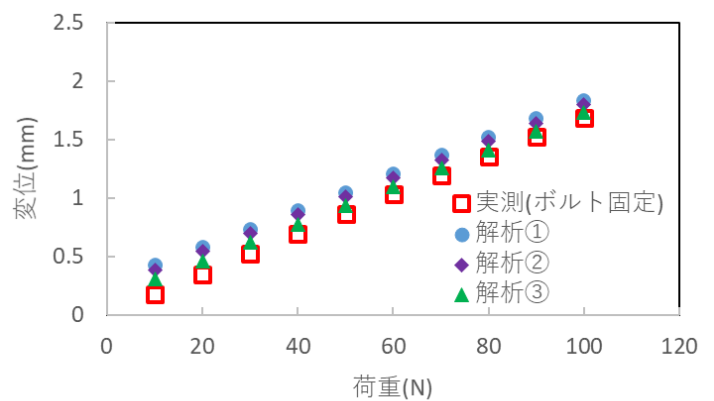


図6 締付けトルク・トルク係数変更比較結果

表4 解析条件

	締付けトルク(N・m)	トルク係数	部品間の摩擦係数
解析①	0.630	0.2	0.3
解析②	0.630	0.26	0.3
解析③	0.176	0.2	0.3

このことから、締付けトルク及びトルク係数による影響はあると考えられるが、これらの値は、製品の組立時の作業者により異なることから、実環境に近づけることは困難と考えられる。

また、実際の筐体のボルト受け部のテーパやボルト長さを解析モデルで再現出来なかったため、これらが実測との誤差の一因と考えられる。

そこで、上下部品を完全に固定し、ボルト等の影響を排除した解析条件でシミュレーションを行った結果、実測値と概ね一致した(図7)。

さらに、上下部品を接着剤で固定した筐体の実証実験を行ったところ、シミュレーション値とほぼ一致することが分かった(図8)。

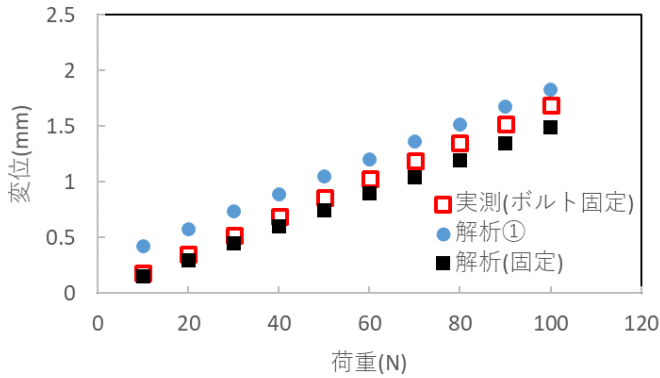


図7 比較結果

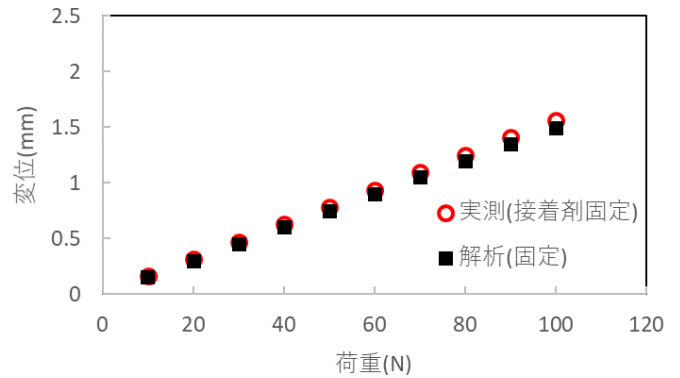


図8 上下部品固定の比較結果

2. IoT 機器筐体モデルの固有値解析と実証実験

(1)有限要素法(FEM)による固有値解析

共振した際のモード1の形状結果を図9に、固有振動数の結果を表5に示す。材料物性値と境界条件から固有値解析を行った結果、モデルが共振した際に、中央付近は相対的に変位が大きいきちが分かり、固有振動数が487.25Hzと確認できる。

表5 固有値解析結果

モード次数	固有振動数(Hz)
1	487.25

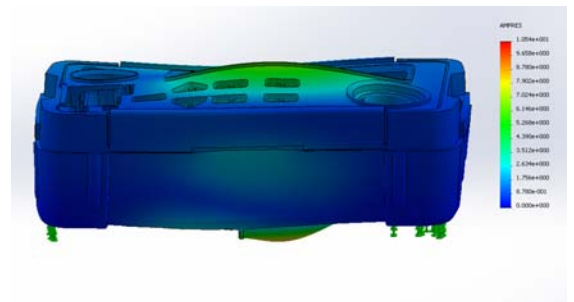


図9 モード1

(2)実証実験

共振点探査試験の結果、420Hz付近に固有振動数が確認された(図10)。固有振動数は実測値と比べると、シミュレーション値の方が高い周波数となっていた。この要因として、解析モデルでは底面が完全に固定する条件としたため、より大きなエネルギーを必要とし固有振動数が大きな値になったと考えられる。

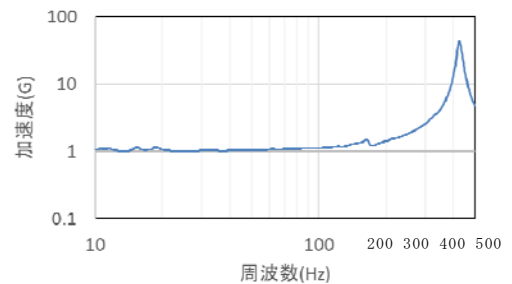


図10 共振点探査試験結果

3. IoT 機器筐体モデルの電磁界解析

Wifi/Bluetooth 用逆F型アンテナ(2.4GHz帯)を設計し、アンテナをメイン基板に対して平行と垂直に配置した場合の電磁界解析結果を図11、12に示す。VSWR(電圧定在波比)は進行波と反射波の合成された定在波の電圧での最大/最小振幅比で、この値が1に近いほどアンテナ性能は良いとされる。アンテナを平行に置いた場合、VSWRは5.2を示し、メイン基板の影響を大きく受けてアンテナ性能を確保できていない。一方、アンテナを垂直に置いた場合、VSWRは1.1となり、垂直に置くことによりメイン基板の影響を小さくでき、アンテナ性能を確保できることが分かった。

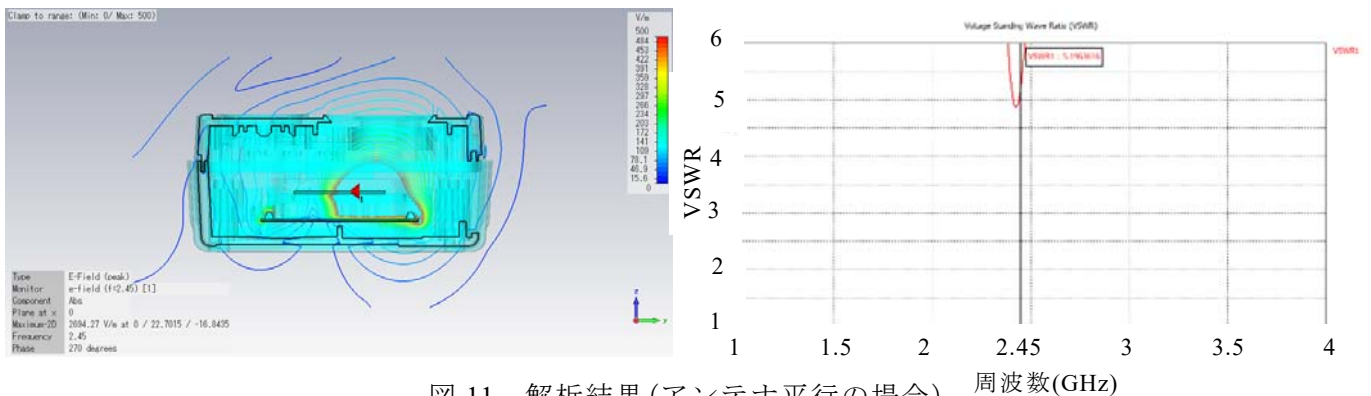


図11 解析結果(アンテナ平行の場合)
(左:電界強度分布 右:VSWR)

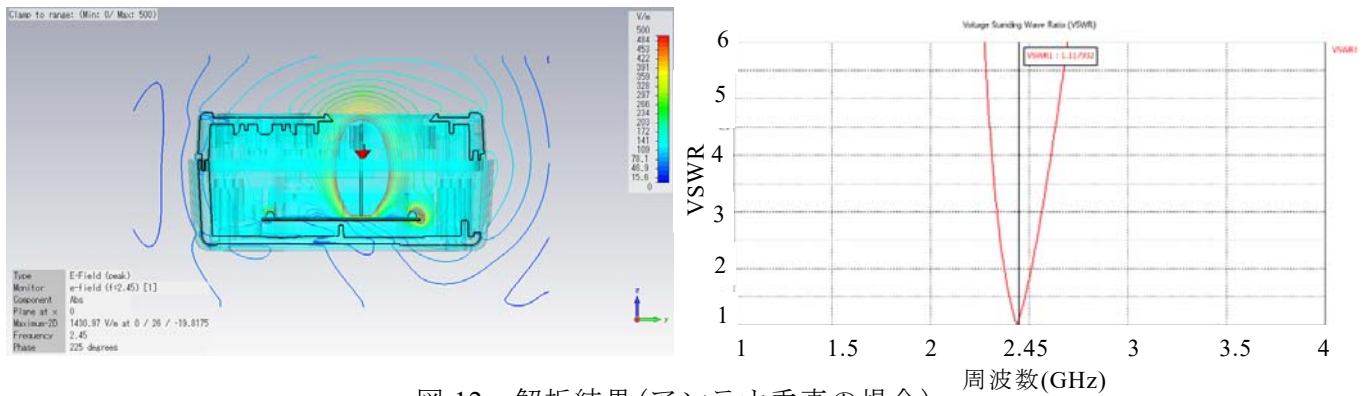


図 12 解析結果(アンテナ垂直の場合)
(左：電界強度分布 右：VSWR)

ま と め

IoT 機器筐体をモデルとし、3D 設計解析ソフトを用いた剛性解析、固有値解析、電磁界解析を行い、剛性解析と固有値解析については、実証実験による比較検討を行った。

- IoT 機器筐体モデルの剛性解析と実証実験を行い、ボルトで固定し上下部品間の摩擦を考慮した解析の場合、部品間の摩擦係数の影響は少なく、ボルトの締付けトルク及びトルク係数の影響を受けるが、実測値によく似た傾向を示した。また、上下部品を完全に固定し、ボルト等の影響を排除した解析条件でシミュレーションを行った結果、実測値と概ね一致することが分かった。さらに、上下部品を接着剤で固定した筐体の実証実験を行ったところ、シミュレーション値とほぼ一致することが分かった。
- 同モデルの固有値解析と実証実験を行い、どちらも 1 次モードの固有振動数が 400Hz 台にあることを確認した。また、固有振動数は実測値に比べ、シミュレーション値の方が高い周波数であることを確認した。
- 同モデルの電磁界解析を行い、逆 F 型アンテナの配置はメイン基板に対して平行ではなく、垂直にすることでメイン基板の影響を小さくでき、アンテナ性能を確保できることが分かった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、データをご提供いただきました、共立電気計器株式会社様に厚くお礼申し上げます。また、データの修正にご協力いただきました、地方独立行政法人鳥取県産業技術センター木村勝典様、地方独立行政法人山口県産業技術センター永田正道様に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 川田章弘:IoT 用基板用アンテナのバーチャル設計,トランジスタ技術(2017,12).
- 清水慎吾,橋口智和:九州連携 CAE 研究会における解析事例の検証-ボルト-ボルト締結時における応力解析の簡易化の検討-(2013).