

パワーエレクトロニクス機器が発生する放射性 EMI の一考察

A Consideration of Radiated EMI Generated by Power Electronics Apparatus

對馬可南子*
Kanako Tsushima

小笠原悟司*
Satoshi Ogasawara

折川幸司*
Koji Orikiwa

竹本真紹*
Masatsugu Takemoto

小山兼司**
Kenji Koyama

*北海道大学
Hokkaido University

**ダイキン工業（株）
DAIKIN INDUSTRIES, LTD

1. まえがき

代表的なパワーエレクトロニクス機器であるインバータが家庭用エアコンに搭載されて以来、インバータはエアコンの快適性、省エネ性に大きく寄与してきた。一方、インバータのスイッチングに起因するノイズが問題となり、150 kHz から 30 MHz の周波数帯域の伝導性 EMI が主に検討されてきた[1]。近年、SiC や GaN などのワイドギャップ半導体を用いたパワー半導体デバイスが開発され、インバータが発生するノイズの広帯域化が懸念されている[2]。これまでに、インバータと負荷を接続する電力ケーブルから発生する 30 MHz 以上の周波数領域の放射性 EMI について検討例が報告されている[3]。

本論文では、インバータを格納する筐体フレームから発生する放射性 EMI について検討する。業務用インバータエアコンを例に、インバータ動作中の放射性 EMI の測定を行い、50 MHz 付近に筐体フレームに起因する放射性 EMI が発生していることを示す。さらに、EMC Studio を用いた電磁界シミュレーションにより、その発生メカニズムを解明する。

2. 放射性 EMI の測定

パワーエレクトロニクス機器の一例として業務用インバータエアコンについて、インバータ動作中の放射性 EMI を測定した。図 1 に、実験機の外観を示す。インバータは室外機の筐体中に設置されており、インバータノイズの基本的特性を測定するために、EMI 対策のフィルタやコモンモードチョークはすべて取り外した状態としている。

図 2 に、放射性 EMI の測定結果を示す。測定は 10 m 法で測定可能な電波暗室で行い、測定結果はターンテーブルを一回転させた際のそれぞれの周波数における最大値を示



図 1 実験機外観
(左：室外機，右：室内機)

している。測定結果からは、垂直偏波において 30 MHz 付近と 50 MHz 付近に、放射の大きな周波数帯が存在している。

この周波数領域において近磁界プローブを用いて測定したところ、30 MHz 付近においては室内機と室外機を接続している銅パイプに沿って、50 MHz 付近においては室外機筐体のフレームに沿って、線状アンテナで見られるのと同様な電流分布が存在することを確認した。銅パイプや筐体を接地すると、電流分布自体は変化するものの、放射性 EMI のレベルにはほとんど変化が見られなかった。また、インバータを覆っている室外機の筐体パネルを取り外して放射性 EMI を測定しても、50 MHz 付近のレベルはほとんど変化が見られなかった。このことから、この周波数領域における電磁波の放射には、筐体パネルよりはむしろ筐体フレームが寄与していると考えられる。

以上のことから、50 MHz 付近の放射電磁波は、室外機筐体フレームに高周波電流が分布して流れ、筐体フレームがアンテナとなって電磁波を放射していると考えられる。

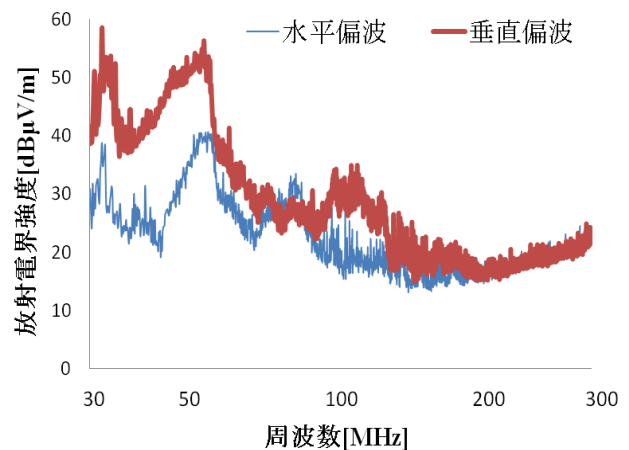


図 2 放射性 EMI 測定結果

3. シミュレーションによる検討

50 MHz 付近の放射電磁波の発生メカニズムを解明するために、EMC Studio を用いた電磁界シミュレーションを行った。図 3 に、シミュレーションモデルを示す。筐体フレームのみの放射特性を検討するために、インバータエアコンの室外機筐体の外形と同じ寸法のワイヤモデルとして、

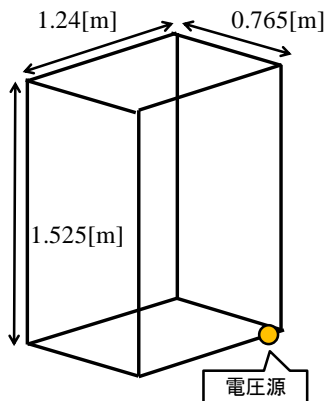


図 3 シミュレーションモデル

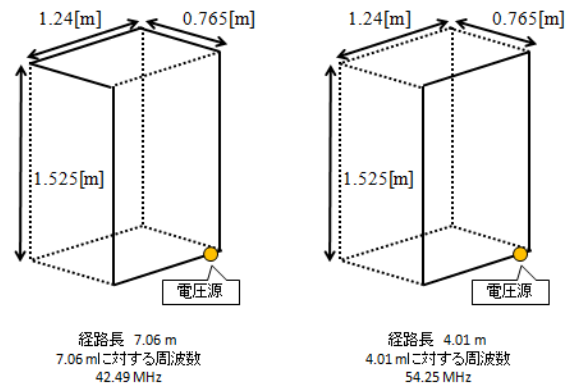


図 5 垂直偏波に対して考えられる経路

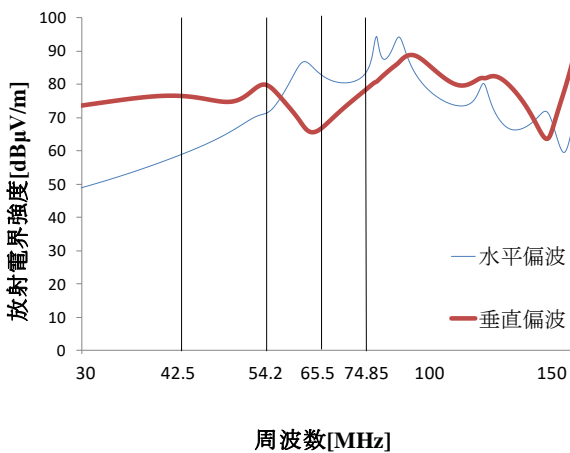


図 4 シミュレーション結果

解析を簡便化している。ノイズ源は、筐体フレームの一箇所にて 1 V の電圧源を挿入している。これは、筐体内に設置したインバータから発生した高周波電流が、筐体フレームに循環して流れることにより電磁波を放射していることを模擬するためである。

図 4 に、シミュレーション結果を示す。シミュレーション結果の電界強度は、測定状況に準じて筐体から 10 m の地点の解析結果である。しかし、シミュレーションモデルではノイズ源のスペクトルや接続状況が実験とは異なるため、レベルの絶対値には意味が無いことに注意を要する。しかし、垂直偏波においては 40.5 MHz、54.5 MHz に、水平偏波においては 62.5 MHz、79.0 MHz に放射の大きな周波数領域が存在しており、これらの周波数領域で筐体フレームが固有周波数を有していることがわかる。特に、垂直偏波の固有周波数は実験結果の放射レベルの高い周波数と一致しており、この周波数領域の放射は筐体フレームが大きく関係していると考えられる。

4. 固有周波数の考察

垂直偏波における 40.5 MHz、54.5 MHz の固有周波数について、筐体フレームの共振モードを検討する。図 5 に、シミュレーションモデルの筐体フレームを電流が循環して

流れる経路の例を示す。循環電流の最も長い経路は図 5 左の経路で、経路長は 7.05 m である。2 番目は図 5 右の経路で、経路長は 4.01 m である。

筐体フレームを介して電圧電流の波動が光速で伝搬すると仮定すると、ノイズ源である電圧源の一端から伝搬し始めた電圧電流の波動は、図 5 の経路を循環して電圧源の他端に戻る。戻った電圧電流の波動が強め合う場合に放射が強くなると考えられるので、経路長が波長の整数倍になる周波数が固有周波数になると考えられる。

図 5 の経路長が波長と等しくなる周波数は、それぞれ 42.5 MHz、54.2 MHz となり、この周波数を図 4 のシミュレーション結果にも示している。この二つの周波数は、シミュレーション結果の垂直偏波における共振点の周波数とほぼ一致していることから、インバータからのノイズ電流が筐体フレームで構成される経路を循環して流れ、これがループアンテナとなって電磁波を放射していると考えられる。

4. まとめ

本論文では、業務用インバータエアコンを例に、インバータを格納する筐体フレームから発生する放射性 EMI について検討を行った。インバータ動作中の放射性 EMI の測定を行い、50 MHz 付近に筐体フレームに起因する放射性 EMI が発生していることを示した。さらに、EMC Studio を用いた電磁界シミュレーションにより、インバータが発生したノイズ電流が筐体フレームを循環して流れることにより、筐体フレームがループアンテナとなって電磁波を放射していることを明らかにした。

参考文献

- [1] 小山・田中・赤木(2009): 「インバータエアコンの共通モードノイズ・シミュレーションのためのモデリングと解析」, 平成 21 年電気学会産業応用部門大会論文集, 1-02-5, pp. 175-180
- [2] 伊藤・齋藤・志津・渡部(2013): 「次世代パワーデバイス(SiC)のエアコン適用における期待と課題」平成 25 年電気学会産業応用部門大会論文集, 4-S10-3, pp. 69-72
- [3] 田村・中武・明石・西沢・東(2009): 「電力変換器の放射 EMI ノイズシミュレーション」, 平成 21 年電気学会産業応用部門大会論文集, 1-107, pp. 583-584