IH クッキングヒータが発する高周波騒音および騒音抑制に関する検討

A study on the Noise Suppression in High Frequency Acoustic Noise of IH Cooking Heater

米盛 弘信^{*1}(正員), 丸山 諒^{*1}(学生員)

Hironobu YONEMORI (Mem.), Ryo MARUYAMA (Stu. Mem.)

This paper discusses high frequency acoustic noise generated by an IH cooker. Mechanism of high frequency acoustic noise generation is clarified by the experimental study. Recently, influence of the electromagnetic wave on the human body is worried. The symptoms; user of home electronics appliances feels; are headache and nausea. There is a report that some users who are using IH cooking heater also feel these symptoms. We have discovered that the high frequency acoustic noise, which is generated from an IH cooker, indicates strong-level sound pressure. High frequency strong acoustic noise must not be ignored, because its danger on our health is reported scientifically and medical standpoints. Then, it becomes necessary to examine the suppressing method of high frequency acoustic noise. In this paper, generating mechanism of the high frequency (20 kHz ~) acoustic noise is made clarify by the experiments. Further, we have experimentally cleared that the lid of a pan has important effect on the suppression of the high frequency acoustic noise.

Keywords: IH cooking heater, noise suppression, high frequency acoustic noise, lid of pan, vibration of pan.

1 はじめに

近年, 身近な家庭内等で, 電気を用いて高効率加熱が可能な IH (Induction Heating) クッキングヒータ (以下, IH 調理器) の需要が増加している。IH 調理器は, 直火を使用せず調理が可能であるため安全性が高い。しかし, 便利で気軽に使用可能な調理器具である反面, IH 調理器の使用中に頭痛や吐き気や気分が悪くなる等の症状が多数報告されている[1]。この症状の主要因として, IH 調理器から出る電磁波が問題視されている。しかし, IH 調理器の電磁波は他の家電製品に比べて特別多いわけではない[2]。

先の研究では[3], IH 調理器で誘導加熱する際に, IH 調理器から高い音圧レベルの高周波騒音が発生していることを発見し, これが人体に不快感や自覚症状を与える原因ではないかと仮説を立てた。音響分野の研究では, 高い音圧レベルの超音波 (可聴領域外) が人体に与える影響について, 超音波暴露問題[4]と題して問題視されている。通常, 人間は可聴領域外の音を認識できないが, 高い音圧レベル (90dB 以上) の高周波騒音は人間が知覚すると報告されている[5][6]。IH 調理器の一般的な加熱コイルの駆動周波数は 20kHz であり, その高次高調波は超音波領域になる。したがって, 可

連絡先: 米盛 弘信, 〒194-0215 東京都町田市小山ヶ丘 4-6-8, サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科,
e-mail: yonemori@salesio-sp.ac.jp

^{*1} サレジオ高専

聴領域外に高い音圧レベルの高周波騒音が存在するならば, 人体に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。すなわち, IH 調理器の使用中に発症する自覚症状は超音波暴露問題に該当すると考えられる。

本論文では, 鍋を誘導加熱した際に放射される高周波騒音の諸特性 (鍋振動・駆動周波数と高周波騒音) を解明し, 鍋蓋の使用による騒音抑制方法を提案する。最初の取り組みとして, 鍋材質や鍋の大きさによる高周波騒音への影響, 加熱コイルの駆動周波数と高周波騒音の関係について明らかにする。最終的に, 鍋から放射される高周波騒音の低減法について一提案を行う。

2 鍋振動と高周波騒音の関係

本章では, 誘導加熱中に生じる鍋振動と鍋から放射される高周波騒音の関係について解明する。鍋を強制的に振動させた際に放射される高周波騒音の測定と実際の誘導加熱中に鍋から放射される高周波騒音の測定を行い, 両実験より鍋振動が高周波騒音に与える影響を解明する。

2.1 鍋を強制振動させた際に放射される高周波騒音

2.1.1 実験方法

本実験では, 鍋を強制的に振動させた際に, 鍋振動が鍋から放射される高周波騒音に与える影響を解明する。Fig. 1 に実験構成を示す。なお, 無響音室 (暗騒音: 18dB) で行う。

Fig.1 Structure of experimental system.

- ① ファンクションジェネレータに磁歪素子を接続し、鍋を磁歪素子の上に固定する。
- ② ファンクションジェネレータを 20kHz, 5Vp-p に設定し、鍋を強制的に振動させる。
- ③ コンデンサマイクを FFT 分析器に接続して振動音を測定し、周波数分析を行う。
- ④ 鍋の種類を変更し、①～③の実験を行う。

ただし、マイクまでの距離は、調理器前面に立つユーザの耳の位置を考慮して、鍋の中心から水平方向 30cm, 垂直方向 70cm とする。

2.1.2 実験結果

Fig. 2 と Fig. 3 に鍋から放射される高周波騒音の周波数分析結果を示す。今回、5 つの異なる鍋底径において実験を行ったが、各鍋において同じ傾向であったため、鍋素材ごとに代表例の結果を述べる。

Fig. 2 より、三層ステンレス鋼鍋を 20kHz で強制振動させた場合、20kHz 付近に約 68dB のスペクトルが発生していることがわかる。また、Fig. 3 より、ほうろ鍋を 20kHz で強制振動させた場合も三層ステンレス鋼鍋と同様に、20kHz 付近に約 75dB のスペクトル

Fig. 2 Vibration acoustic noise of three-layers stainless steel pan. (Diameter : 20cm)

Fig. 3 Vibration acoustic noise of enameled pan. (Diameter : 18cm)

が発生していることがわかる。

これらの結果より、全ての鍋において鍋振動と高周波騒音のスペクトルが一致していることがわかる。よって、鍋振動が高周波騒音の要因であるといえる。なお、60kHz 付近から利得が上昇しているが、測定器のフロアノイズであり、音ではないことを付記する。

2.2 誘導加熱中に鍋から放射される高周波騒音

2.2.1 実験方法

本実験では、誘導加熱中における高周波騒音と鍋振動の関係を解明する。Fig. 4 に実験構成を示す。なお、電源等の関係上、無響音室が利用できないため静粛状態の実験室で行う。

- ① IH 対応鍋に水 500cc を入れる。
- ② 出力を調整し、純音を出す状態で誘導加熱を行う。
- ③ コンデンサマイクを FFT 分析器に接続して高周波騒音を測定し、周波数分析を行う。
- ④ レーザドップラ非接触振動計を用いて鍋の振動を測定する。使用するモードは速度モードである。
- ⑤ FFT 分析器と振動計の出力をデジタル・オシロスコープに接続し、時間波形の観察と周波数分析を行う。
- ⑥ 鍋の種類を変更し、①～⑤の実験を行う。

Fig. 4 Structure of experimental system.

ただし、マイクロフォンまでの距離は、調理器前面に立つユーザの耳の位置を考慮して、鍋の中心から水平方向 30cm、垂直方向 70cm とする。また、マイクロフォンと振動測定用ピックアッププローブは IH 調理器と接触しておらず、他の振動等の影響が無いように考慮していることを付記する。

2.2.2 実験結果

Fig. 5 に鍋から放射される高周波騒音と鍋振動の周波数分析結果を示す。ただし、M1: 鍋振動の時間波形、M2: 鍋振動のスペクトル、M3: 高周波騒音の時間波形、M4: 高周波騒音のスペクトルである。また、各波形 (M1~M4) の“→”とスクリーン左端が基準 0 である。今回、5 つの異なる鍋底径において実験を行ったが、各鍋において同じ傾向であったため、代表例として、鍋底径 20cm (三層ステンレス鋼鍋)、18cm (ほうろ鍋) の結果を述べる。

Fig. 5 (a)より、三層ステンレス鋼鍋の鍋振動と高周波騒音は正弦波状の時間波形であり、約 45kHz 前後に鍋振動と高周波騒音のスペクトルが発生していることがわかる。Fig. 5 (b)より、ほうろ鍋の鍋振動と高周波騒音も三層ステンレス鋼鍋と同様、正弦波状の時間波形であり、約 45kHz 前後に鍋振動と高周波騒音のスペクトルが発生していることがわかる。これらの結果より、鍋振動と高周波騒音のスペクトルが一致してお

(a) Three-layers stainless steel pan.(Diameter : 20 cm)

(b) Enameled pan.(Diameter : 18cm)

Fig. 5 Pan vibration and high frequency acoustic noise.

り、鍋振動が高周波騒音の要因であるといえる。

各鍋において高周波騒音のスペクトルが発生しているが、これは誘導加熱時に流れる加熱コイル電流と鍋の渦電流による反発力によって鍋が振動し、鍋自体がスピーカのように音を発していると考えられる。

3 駆動周波数が高周波騒音に与える影響

本章では、誘導加熱時の加熱コイル電流周波数の周波数分析結果と高周波騒音の周波数分析結果との比較を行い、誘導加熱時におけるコイル電流周波数と鍋から放射される高周波騒音の関係を解明する。

3.1 実験方法

本実験では、誘導加熱時におけるコイル電圧・電流と鍋から放射される高周波騒音を測定する。Fig. 6 に実験構成を示す。なお、電源等の関係上、無響音室が利用できないので静粛状態の実験室で行う。

① IH 対応鍋に水 500cc を入れる。

Fig. 6 Structure of experimental system.

- ② 最大出力で誘導加熱を行う。
- ③ コンデンサマイクを FFT 分析器に接続して高周波騒音を測定し、周波数分析を行う。
- ④ デジタル・オシロスコープに差動プローブを接続し、加熱コイルのコイル電圧を測定し、周波数分析を行う。
- ⑤ デジタル・オシロスコープに電流プローブを接続し、加熱コイルのコイル電流を測定し、周波数分析を行う。
- ⑥ 鍋の種類を変更し、①～⑤の実験を行う。

ただし、鍋からマイクまでの距離は、調理器前面に立つユーザの耳の位置を考慮して、鍋中心から水平方向 30cm, 垂直方向 70cm とする。

3.2 実験結果

Fig. 7 (a)に三層ステンレス鋼鍋(鍋底径 20cm), Fig. 8(a)にほうろ鍋(鍋底径 18cm)の誘導加熱時に発生する高周波騒音の周波数分析結果を示す。また, Fig. 7(b)に三層ステンレス鋼鍋(鍋底径 20cm), Fig. 8(b)にほうろ鍋(鍋底径 18cm)を誘導加熱した際のコイル電圧・電流をデジタル・オシロスコープの FFT 機能で周波数分析した結果を示す。ただし, M1: コイル電圧のスペクトル, M2: コイル電流のスペクトルである。また, 各波形 (M1~M2) の“→”とスクリーン左端が基準 0 である。Fig. 7(a)より三層ステンレス鋼鍋の誘導加熱時には, 23kHz 付近で約 80dB の高周波騒音の基音が発生した。また, 基音の約 2 倍である 46kHz 付近で約 104dB の倍音が発生した。このとき, コイル電流の周波数分析結果に着目すると, Fig. 8 (b)より 23kHz 付近

(a) Frequency characteristics of the high frequency acoustic noise.

(b) Frequency characteristics of the coil voltage and current.

Fig. 7 Three-layer stainless steel pan : Coil voltage, current and high frequency noise.

で約 14A の電流が流れたことがわかる。また, 2 倍周波数である 46kHz 付近で約 2.2A の電流が流れたことがわかる。

Fig. 8 (a)よりほうろ鍋の誘導加熱時には, 23kHz 付近で約 70dB の高周波騒音の基音が発生した。また, 基音の約 2 倍である 46kHz 付近で約 84dB の倍音が発生した。このとき, コイル電流の周波数分析結果に着目すると, Fig. 8 (b)より 23kHz 付近で約 16A の電流が流れたことがわかる。また, 2 倍周波数である 46kHz 付近で約 4.1A の電流が流れたことがわかる。これらの結果より, 誘導加熱時に鍋から放射される高周波騒音は, コイル電流の周波数と一致していることがわかる。なお, 鍋の高周波騒音の周波数分析結果で 0~10kHz 付近の利得が高いが, これは実験環境における雑音であるため, 鍋から放射される高周波騒音でない。さらに, 60kHz 付近から利得が上昇しているが, 測定器のフロアノイズであり, 音ではないことを付記する。

(a) Frequency characteristics of the high frequency acoustic noise.

(b) Frequency characteristics of the coil voltage and current.

Fig. 8 Enamelled pan : Coil voltage, current and high frequency noise.

4 鍋蓋の有無が高周波騒音に与える影響

高周波騒音の発生原因は鍋の振動であることから、鍋蓋を使用することで鍋から放射される高周波騒音を低減することができると考えられる。本章では、誘導加熱時において、鍋蓋を使用・未使用の場合の高周波騒音を測定し、鍋蓋の有無が鍋から放射される高周波騒音に与える影響を解明する。

4.1 実験方法

本実験では、200V オールメタル対応型 IH 調理器を用いて鍋を誘導加熱した際に放射される高周波騒音を測定する。実験構成は、Fig. 4 の騒音計測法と同様である。なお、電源等の関係上、無響音室の利用できないため静粛状態の実験室で行う。

- ① IH 対応鍋に水 500cc を入れる。
- ② 最大出力で誘導加熱を行う。
- ③ コンデンサマイクロフォンを FFT 分析器に接続

して高周波騒音を測定し、周波数分析を行う。

- ④ 鍋蓋を使用した状態で①～③の実験を行う。
- ⑤ 鍋の種類を変更し、①～④の実験を行う。

ただし、鍋からマイクロフォンまでの距離は、調理器前面に立つユーザの耳の位置を考慮して、鍋中心から水平方向 30cm、垂直方向 70cm とする。

4.2 実験結果

Fig. 9 (a)(b), Fig. 10(a)(b)に誘導加熱時に鍋から放射される高周波騒音の周波数分析結果を示す。Fig. 9(a)(b)に三層ステンレス鋼鍋（鍋底径：20cm）から放射される高周波騒音の鍋蓋の有無に対する比較結果を示す。Fig. 9(a)より、鍋蓋が無い状態での誘導加熱時には、23kHz 付近で約 80dB の高周波騒音の基音が発生した。また、基音の約 2 倍である 45kHz 付近で約 104dB の倍音が発生した。Fig. 9(b)より、鍋蓋が有る状態での誘導加熱時には、23kHz 付近で約 76dB の高周波騒音の基音が発生した。また、基音の約 2 倍である 45kHz 付近で約 101dB の倍音が発生した。

今回、人体に影響があると報告事例のある 90dB 以上の騒音[5][6]を有する倍音成分について議論する。鍋蓋がある状態における高周波騒音の倍音成分は、鍋蓋が無い状態に比べて約 4dB 減少していることが確認できた。

次に、Fig. 10(a)(b)にほうろ鍋（鍋底径：18cm）から放射される高周波騒音の鍋蓋の有無に対する比較結果を示す。Fig. 10 (a)より、鍋蓋が無い状態での誘導加熱時には、23kHz 付近で約 70dB の高周波騒音の基音が発生した。また、基音の約 2 倍である 45kHz 付近で約 84dB の倍音が発生した。

Fig. 10 (b)より、鍋蓋が有る状態での誘導加熱時には、23kHz 付近で約 71dB の高周波騒音の基音が発生した。また、基音の約 2 倍である 45kHz 付近で約 81dB の倍音が発生した。こちらも三層ステンレス鋼鍋と同様、鍋蓋がある状態での高周波騒音の倍音成分は、鍋蓋が無い状態に比べて約 3dB 減少していることが確認できた。これらの結果より、鍋から放射される高周波騒音の倍音は、鍋蓋を使用することにより低減できると考えられる。しかし、Fig. 10(a)(b)のほうろ鍋の基音と倍音は可聴領域外の 90dB 以下であり、文献[5][6]を考慮すれば、人体への影響は極小であると考えられる。なお、全ての鍋において 60～70kHz 付近から音圧レベルが上昇しているが、測定器の特性上現れるものであり、測定値とは無関係であることを付記する。

Fig. 9 High frequency acoustic noise of three-layer stainless steel pan.(Diameter : 20 cm)

Fig. 10 High frequency acoustic noise of enameled pan.(Diameter : 18 cm)

5 まとめ

本論文では、鍋を誘導加熱した際に放射される高周波騒音の諸特性を測定し、鍋材質、鍋の大きさによる高周波騒音への影響や、加熱コイルの駆動周波数と高周波騒音の関係について解明した。以下に本研究で得られた成果を示す。

(1) 鍋振動と高周波騒音の関係

磁歪素子を用いて鍋を 20kHz で強制振動させて振動音を測定したところ、20kHz 付近に高周波騒音のスペクトルが発生していることを確認した。これらの結果より、鍋振動と高周波騒音のスペクトルが一致しているため、鍋振動が高周波騒音の要因であることを明らかにした。

(2) 駆動周波数が高周波騒音に与える影響

誘導加熱時の高周波騒音と加熱コイル電圧・電流を測定したところ、高周波騒音のスペクトルとほぼ同じ周波数帯に加熱コイル電圧・電流周波数のスペクトルが存在していることを確認した。これらの結果より、誘導加熱時に鍋から放射される高周波騒音は、コイル電流の周波数に影響されることを明らかにした。

(3) 鍋蓋の有無が高周波騒音に与える影響

誘導加熱時の高周波騒音を測定するにあたって、鍋蓋の有無の比較実験を行ったところ、鍋蓋がある状態での高周波騒音の倍音成分は、鍋蓋が無い状態に比べて約 4dB 前後低減していることが確認できた。これらの結果より、人体への影響が懸念される 90dB 以上の高周波騒音を発するステンレス鋼鍋から放射される高周波騒音は、鍋蓋を使用することにより低減できることを明らかにした。

以上、誘導加熱時に IH 調理器から放射される高周波騒音についての諸特性を明らかにした。さらに、誘導加熱時に鍋蓋を使用した際に高周波騒音が低減したことにより、鍋蓋を使用することによる高周波騒音の一低減法を提案する。今後は、4 章の結果よりも騒音抑制効果の高い方法を模索して行く予定である。

謝辞

本研究は、高専一長岡技科大 共同研究助成によって行われました。関係各位に感謝致します。

(2014 年 3 月 15 日受付, 2014 年 10 月 20 日再受付,
2014 年 12 月 23 日再々受付)

参考文献

- [1] 懸樋哲夫, IH 調理器と電磁波被害, 三五館, p.4, 2005.
- [2] 鈴木浪平, 私立広康, 家庭用 IH キッキングヒータ技術, 三菱電機技報, Vol.80, p.11, 2006.
- [3] 米盛弘信, 藤原章裕, IH キッキングヒータが発する高周波騒音の指向性, 第 23 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp.437-442, 2011.
- [4] 鎌倉友男, 超音波領域における聴覚閾値, 日本音響学会 超音波研究会, pp.5-6, 2007.
- [5] 伊藤陽一, 実験室における空中超音波暴露とその影響, 日本音響学会誌, 67 巻 5 号, pp.194-199, 2011.
- [6] 蘆原 郁, 高周波聴覚閾値の精神物理学的測定, 日本音響学会誌, 67 巻 5 号, pp.208-213, 2011.