

IH クッキングヒータから放射される高周波騒音と不快感の関係

Study on the High Frequency Acoustic Noise and Unpleasantness Generated from an IH Cooking Heater

葛西 裕生^{*1}, 米盛 弘信^{*1} (正員)

Yuu KASAI, Hironobu YONEMORI (Mem.)

This paper discusses the unpleasantness and high frequency acoustic noise generated from an IH cooking heater. Recently, the demand for IH Cooking Heater increases rapidly. However, a lot of cases such as feeling irked while using it are reported. The IH cooking heater has achieved heating by using the high-frequency current of 20 kHz. When the pan is heated, the high frequency acoustic noise has been generated. As a result of experiment, the relation of person unpleasantness to the high frequency acoustic noise generated from the IH cooking heater was examined.

Keywords: IH cooking heater, high frequency acoustic noise, unpleasantness.

1 はじめに

近年、オール電化住宅などの普及に伴い IH(Induction Heating)クッキングヒータの需要が急増している[1]。IH クッキングヒータは、直火を使用しないため安全性が高く、鍋を置く面がフラットなので清掃性が良い。さらに、加熱効率が高いので環境問題などの観点からもエコロジー家電として注目を集めている。

このような背景の下、IH クッキングヒータの使用者は増加しているが、一部の使用者から健康被害が報告されている[2]。この報告では、調理中に頭痛や吐き気、気分が悪くなるなどの症状が挙げられている。現在、原因として IH クッキングヒータから発生する電磁波が問題視されている。しかし、IH クッキングヒータから発生する電磁波は一般家電より小さい[1]。また、電気学会電磁界生体影響調査特別委員会の報告[3, 4]でもあるように、電磁波が人体に与える影響は工学的に未だ未解明である。ここに IH クッキングヒータを使用時に使用者が感じる不快感の原因が未解明という課題を見出せる。

一方で、超音波を応用した音響スポットライト“パラメトリックスピーカ”が実用化されている。このスピーカは、40 kHz の超音波を空气中に約 100 dB もの強力な音圧レベルで放射するものである。すなわち、超音波自体は人の耳に聞こえないが、人体は非常に大きな音圧レベルの超音波を受けていることになる。こ

のような非常に大きな音圧レベルの超音波を人体に照射すると頭痛やめまい、吐き気などの健康被害を与えることが報告されている。これらは超音波暴露問題[5]と称されて、音響分野で活発に議論が行われている。

IH クッキングヒータは、約 20 kHz の高周波電流を加熱コイルに流し、鍋に渦電流を誘導させて加熱を実現している。すなわち、加熱コイル電流に起因して発生する高周波騒音の高次高調波は超音波領域となる。我々は、先の研究において加熱コイル電流の周波数に起因する 80~100 dB の高周波騒音が発生していることを発見している[6]。したがって、可聴領域外に大きな音圧レベルのスペクトルが存在するならば、音響分野の超音波暴露問題と同様に高周波騒音が人体に何らかの影響を及ぼしていると考えている。このことが実証されれば、他のインバータ機器でも同様な健康被害が起こりうる可能性があり、パワーエレクトロニクス機器の重大な問題であると考えられる。

本論文では、IH クッキングヒータから放射される高周波騒音(パワースペクトル値)と電磁波を測定し、超音波領域で大きな音圧レベルの超音波が発生しているかを確認した。また、高周波騒音のパワースペクトル値と電磁波の関係性を検証する。そして、高周波騒音のパワースペクトル値が使用者に与える影響を検証するために、卓上 IH クッキングヒータを使用して使用者が感じる不快感に関するアンケート調査を行った。これらの実験から IH クッキングヒータから放射されるパワースペクトル値と不快感の関係について究明したので報告する。

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} サレジオ工業高等専門学校

2 IH クッキングヒータの電磁波と音

2.1 IH クッキングヒータの電磁波

Fig. 1 に家電製品の磁界強度[1]を示す。IH クッキングヒータを駆動させると、加熱コイルおよび鍋周辺部に漏れ磁束(電磁波)が発生する。これらの電磁波は、様々な人体への影響が懸念されている[2]。Fig. 1 をみると IH クッキングヒータから発生する電磁波レベルは $1 \mu\text{T}$ 以下であり、国際非電離放射線保護委員会(ICNIRP)が提唱するガイドラインの $83\sim 100 \mu\text{T}$ (商用周波数(50/60 Hz)), $6.25 \mu\text{T}(0.8\sim 150 \text{ kHz})$ よりも低い。また、他の家電と比べても発生する電磁波は小さいことがわかる。しかし、IH クッキングヒータを使用中にユーザーが頭痛や吐き気といった不快感を訴えるなどの健康被害・自覚症状が報告されている。

2.2 音響分野における超音波暴露問題

超音波は、 20 kHz 以上の音なので人間の耳には聞こえない。音圧レベルの高い空中の超音波が人体に照射されると、頭痛やめまい、吐き気といった自覚症状を生じることが報告[5]されている。このような超音波が人体に与える影響は、“超音波暴露問題”と称されて音響工学の分野で活発に研究がなされている。この問題に対して、各方面から検討がなされており、一部ではガイドライン[5]が提示されている。このガイドラインは、8時間労働の作業員を対象として、 20 kHz を超える超音波領域において、 $100\sim 115 \text{ dB}$ の音圧レベルが自覚症状のない基準値として提示されたものである。また、超音波と可聴音にわたる広域域な音波に対して設けられたガイドラインも存在する。このように、超音波暴露問題も周波数帯域や使用時間等によって様々な検討がなされている。

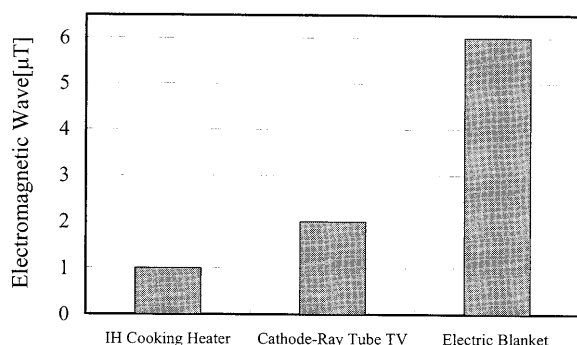


Fig. 1 Electromagnetic wave of home appliance.

2.3 IH クッキングヒータから発生する音響騒音

IH クッキングヒータで調理するときには発生する騒音は、インバータ(駆動周波数)に起因する音とファンの駆動音等がある。IH クッキングヒータは、高効率加熱を行うためにインバータ損失の少ない約 20 kHz の高周波電流を加熱コイルに流して加熱を実現している。そのため、コイル電流の高次高調波は超音波領域になる。したがって、超音波領域の高周波騒音が発生している可能性がある。我々が先に報告した研究成果では、IH クッキングヒータから約 20 kHz 以上で約 $80\sim 100 \text{ dB}$ の高周波騒音が発生しており、 20 kHz 以下の低周波騒音は十分に小さいことを明らかにしている[6]。

Fig. 2 に身近な等価騒音レベル(Sound Pressure Level: SPL)[7]を示す。Fig. 2 より、IH クッキングヒータから放射されている約 $80\sim 100 \text{ dB}$ の騒音は、地下鉄車内の音以上であり、非常に大きな音であることがわかる。現在、IH クッキングヒータのファン駆動音に関する低減策は図られているが消音されているわけではない。一方、インバータに起因する音は対策が取られていない。したがって、IH クッキングヒータから発生する騒音は、2種類以上の音が混在していると考えられる。これら騒音対策は、今後の改善課題の1つである。また、周波数に対する可聴閾値の研究報告では 20 kHz 以上の周波数でも 90 dB 以上の音圧レベルがあれば人は音を感じ、人が不快感を受けることが報告[8,9]されている。よって、IH クッキングヒータから発生する高い音圧の高周波騒音は可聴出来ていなくても、報告される健康被害[2]の原因が超音波暴露問題である可能性が考えられる。

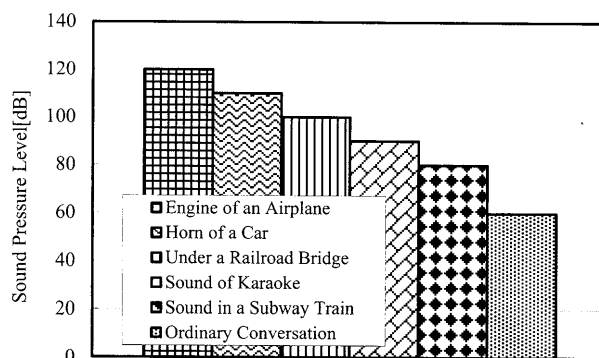


Fig. 2 Familiar noise.

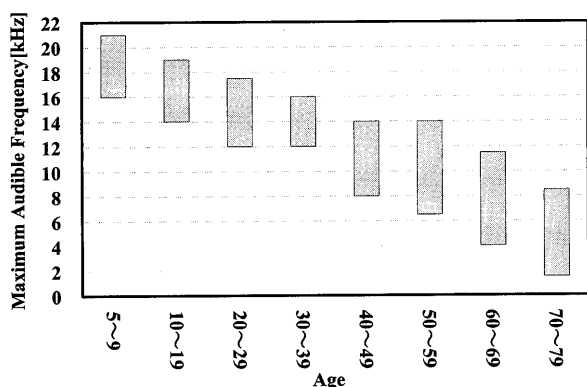


Fig. 3 Maximum audible frequency versus age.

2.4 年齢による可聴領域

Fig. 3 に年齢と最大可聴周波数の関係を示す。通常、人間は年齢と共に高い音が聞こえにくくなる[10]。20歳までは 19 kHz 程度まで聞こえるが、40歳前後で 15kHz 程度までしか聞こえなくなる。IH クッキングヒータの駆動周波数は約 20 kHz なので、Fig. 3 から判断すると若者ほど IH クッキングヒータが発する高周波騒音を敏感に感じるといえる。逆に高齢者ほど聞こえにくいと想定できる。しかし、個人差があるので年齢に関係なく高い音が聞こえる人もいる。このような、可聴周波数の個人差は IH クッキングヒータから放射される高周波騒音の可聴や健康被害にも個人差が発生すると考えられる。

3 パワースペクトルと電磁波

多数報告されている健康被害の原因は、IH クッキングヒータから発生する電磁波とされている。しかし、2章で述べたとおり、IH クッキングヒータの電磁波は他の家電製品と比較しても極端に大きい値ではない。そこで、高周波騒音のパワースペクトル値と電磁波の測定を行った。実験結果より、両者の関係を明らかにする。

3.1 実験方法

IH クッキングヒータから放射される高周波騒音のパワースペクトル値と電磁波の関係性を検討するために、IH クッキングヒータが動作しているときのオーバーオール値と電磁波の測定を行った。Fig. 4 に実験環境、Fig. 5 に使用した IH クッキングヒータの寸法を示す。また、Fig. 5 の IH クッキングヒータの最大火力を Table 1 に示す。ガウスメータとコンデンサマイクロホンは、IH クッキングヒータ端から水平方向に 30 cm の

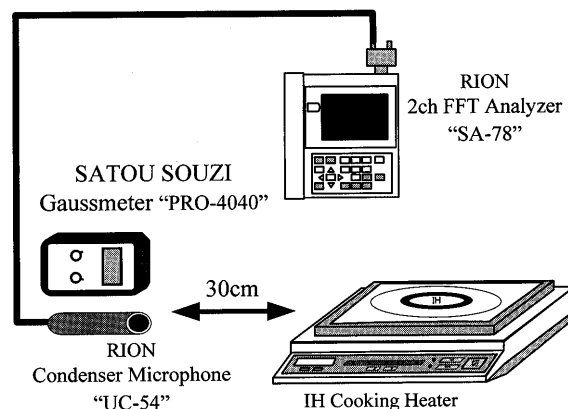


Fig. 4 Experimental environment.

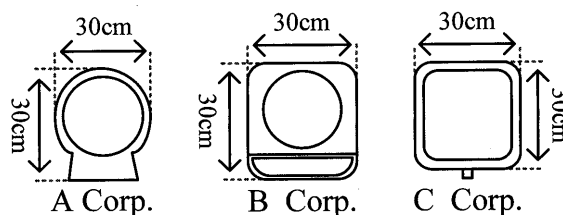


Fig. 5 Size and shape of IH cooking heater.

Table 1 Specification of IH cooking heater.

Maker	Electric power [W]
A	1400
B	1200
C	1400

距離を隔てたところに設置した。3層ステンレス鍋に水量 10 を入れ、最大火力で加熱した。また、高周波騒音のオーバーオール値は、RION 社製コンデンサマイクロホン“UC-54”（周波数特性：20~100 kHz）を RION 社製小型 2ch FFT 分析器“SA-78”（周波数帯域：D.C.~80 kHz）に接続して測定した。電磁波は、佐藤商事製ガウスメータ“PRO-4040”の 3 軸 VLF 域(1 kHz-75 kHz)レンジに設定して測定を行った。

3.2 実験結果

Fig. 6 に高周波騒音の周波数特性を示す。グラフをみると IH クッキングヒータの駆動周波数である約 20 kHz に大きなスペクトルを観察できる。また、高次高調波に大きな値を確認できる。一方、20 kHz 以下の可聴領域は、FFT 分析器のフロアノイズ(50~60 dB)以上のスペクトルを確認できなかった。したがって、低周波領域の騒音は十分小さいことを確認した。

Table 2 に Fig. 6 から読み取ったメーカーごとのパワースペクトル最大値とその周波数ならびにガウスメータ

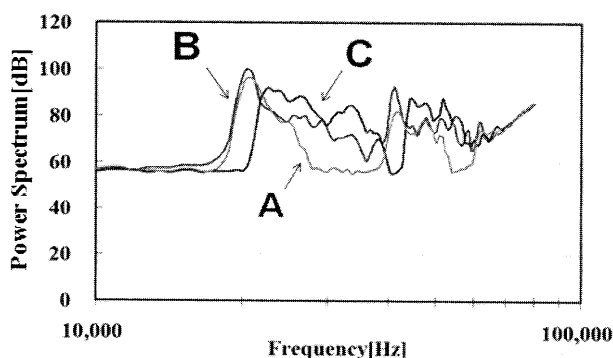


Fig. 6 Frequency characteristic.

Table 2 Power spectrum, frequency, and electromagnetic wave.

Maker	Maximum of Power Spectrum [dB]	Frequency [kHz]	Magnetic Flux Density [mG]
A	96	21.00	4.28
B	99	20.25	3.49
C	92	22.50	1.42

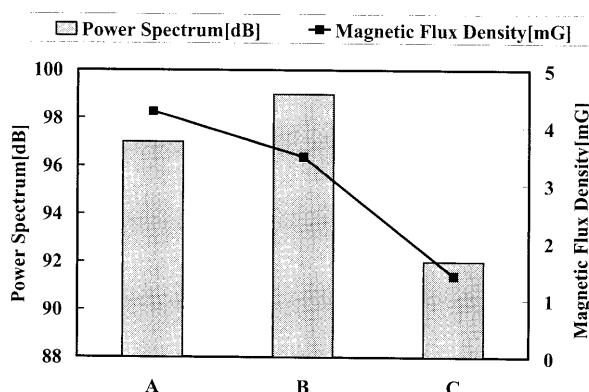


Fig. 7 Comparison between power spectrum and electromagnetic wave.

で計測した電磁波を示す。Fig. 7に Table 2 をグラフ化したものを示す。どのメーカーにおいても 20 kHz 帯域付近で 90 dB を超える騒音が発生していることがわかる。また、発生した電磁波は最大 4.28 mG(42.8 μ T)だった。これは、ICNIRP のガイドライン 62.5 μ T を下回る数値である。高周波騒音の周波数帯域をみると、全体的に 60~96 dB の騒音が発生している。特に大きいパワースペクトルが発生するのは駆動周波数に起因する 20 kHz・40 kHz 付近である。パワースペクトルの最大値と電磁波を比較してみると、パワースペクトルの 1 番大きい B 社は 3.49 mG、電磁波が 1 番高い A 社のパワースペクトルは 96 dB となった。つまり、パワースペクトルと電磁波に関係性が見られなかった。

4 不快感の検証

本論文では、IH クッキングヒータ使用時における不快感の原因を IH クッキングヒータが発している高周波騒音が超音波暴露問題に該当するのではないかと仮定している。3章で IH クッキングヒータから超音波領域の大きな値の高周波騒音が発生していることを明らかにした。そこで、本章では使用者が感じる不快感に着目し、不快感と高周波騒音の関係を検証する。

4.1 実験方法

複数メーカーのIHクッキングヒータに対して不快感のアンケート調査と被験者の簡易聴覚検査を行う。簡易聴覚検査を行う目的は、Fig. 3で示したように被験者には可聴周波数があり、不快感に関係性があると考えたからである。

Fig. 8にアンケート実施時の被験者とIHクッキングヒータの位置を示す。アンケートは、被験者に加熱開始から30秒、30 cm以上離れたところに立ってもらい実施した。アンケートの内容は、「不快に感じたか」YES or NO形式で回答するものとした。なぜならば、質問内容を詳細化しても個人個人で感じ方が異なると容易に予測されることから、得られた結果の判断が困難になると考えたからである。したがって、ここでの「不快」とは、違和感を被験者が覚えた場合を指す。

Fig. 9に簡易聴覚検査の実験環境を示す。Fig. 9のようにスピーカにNF回路設計ブロック社製Multifunction Generator “WF1974”を接続した。スピーカには、14~19 kHz (1 kHz 間隔で上昇)・5 Vp-pの電圧を加えた。スピーカの指向性が原因で被験者が聞き取りにくい可能性があるため、被験者が音を聞き取れなくなった場合は、スピーカに近づいてもらい可聴周波数の確認を行った。以上の実験を暗騒音18 dBの無響音室内で実施した。

4.2 実験結果

本実験は、本校の学園祭期間中に来場した人を対象として合計 88 名にアンケートを実施した。学園祭の来客者を被験者にしたため、被験者の年齢・性別の人数は統一できなかった。そこで、後述するように比較・検討は、被験者全体人数に対する回答数の比で検討した。

Table 3 に被験者の年齢層別における平均可聴周波数と不快に感じた人数を示す。ここでは、3 メーカーのIHクッキングヒータの内、どれか1メーカーでも「不快

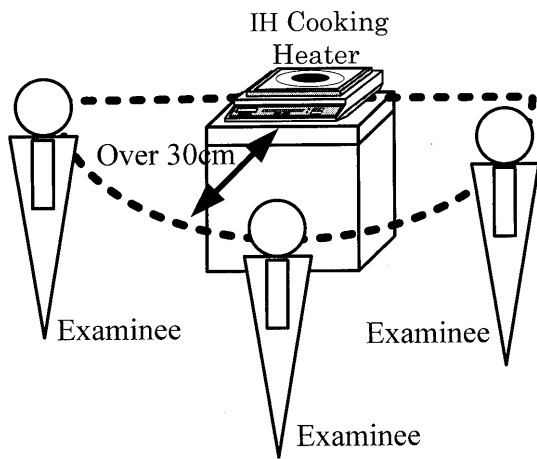


Fig. 8 Position of testee.

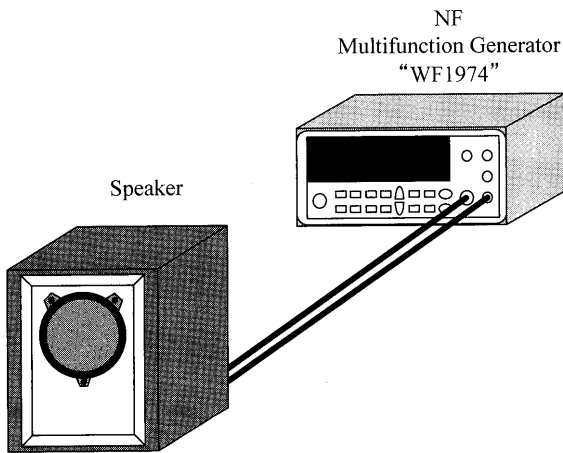


Fig. 9 Environment of auditory test.

Table 3 Average audible frequency and revolted count of examinee.

Age	Count of examinee	Average audible frequency [kHz]	Revolted count of examinee
50~55	5	14	5
40~49	33	14	21
30~39	14	15	8
20~27	10	17	6
15~18	26	17	12
Total	88		52

と回答した場合、「不快」とカウントしている。

Fig. 10 に被験者全体 88 名で不快に感じた人数 52 名の比を示す。Table 3 では、被験者 88 人中 52 人が 3 メーカーのどれかで不快があると回答した。これは、Fig. 10 より 59 % が不快を感じたことになる。また、被験者の年齢が上がると平均可聴周波数は下がっているこ

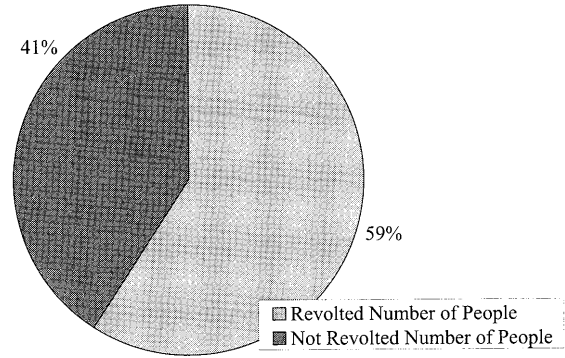


Fig. 10 Revolted number of people.

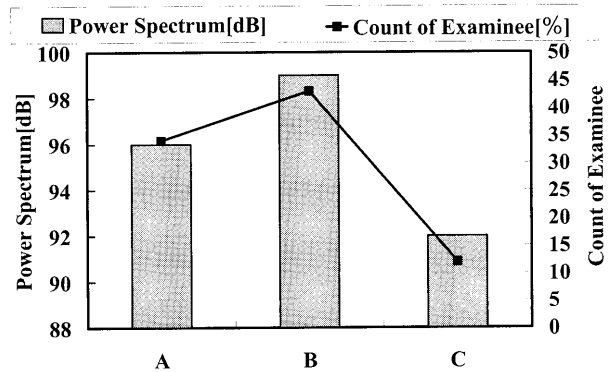


Fig. 11 Power spectrum and unpleasantness.

とがわかる。この傾向は、Fig. 3 のグラフと一致する。しかし、今回の実験では被験者の年齢別の人数がバラバラのため、不快感と年齢層の関係までは検証することができなかった。これは、今後の課題としたい。

4.2.1 パワースペクトルの大きさと不快感

Fig. 11 にメーカー別のパワースペクトル値と不快感の関係を示す。メーカー別に不快に感じた被験者数の比とパワースペクトル値を比較すると、パワースペクトル値が大きいと不快に感じた人数比も増えることがわかる。これは、IH クッキングヒータから放射される超音波領域の高周波騒音が不快感と関係していると判断できる。

4.2.2 不快感と可聴周波数

Table 4 に可聴周波数帯別で不快に感じた人数の比を示す。Table 4 は不快に感じた被験者を可聴周波数 15 kHz 以上、15 kHz 以下分類して比較した。本実験で A・B・C 社すべてにおいて 20 kHz 以上の超音波で 100 dB 近い騒音が発生しているが、それらの差は 2~7dB の違いしかない。しかし、Table 4 のように不快に感じた被験者数に最大で約 70 % の差が生じた。また、可聴周

Table 4 Age and count of examinee.

Average audio frequency [kHz]	Ratio of unpleasantness [%]		
	A company	B company	C company
17 (≤ 15 kHz)	63	81	7.4
13 (> 15 kHz)	50	68	14

波数 15 kHz 以上の被験者は 15 kHz 以下の被験者と比べて A 社と B 社は 13 % 不快に感じた人の比は多かった。これは、パワースペクトルが大きいために 20 kHz 付近の騒音を可聴周波数が高い被験者が感じているからでないかと考えられる。

また、C 社では可聴周波数にかかわらず、不快に感じた人は少なかった。これは、放射される高周波騒音が他社より小さく、22.5 kHz のパワースペクトルが聞き取れなかった人が多かったのではないかと考えられる。しかし、可聴周波数が高い被験者は可聴周波数が低い被験者と比べ C 社で不快に感じた人は 6.6 % 低くなった。この原因は、今後検討する必要がある。

5 結論

本論文では、IH クッキングヒータから放射される高周波騒音と不快感の関係を検証した。検証するために高周波騒音（パワースペクトル）と電磁波の測定を行い、IH クッキングヒータ使用中の不快感に着目したアンケート調査を行った。実験結果から以下の 3 点の知見が得られた。

- (1) 高周波騒音の最大値は、超音波領域で 90~100 dB の値である。
- (2) 人が受ける不快感は、パワースペクトル値の大きさと一致する。
- (3) 被験者の可聴周波数が高いほど不快に感じやすい傾向がある。

本研究の知見から、IH 調理器を使用中の不快感の原因として高周波騒音による超音波暴露問題があると考えられる。しかし、不快感の原因が超音波暴露問題と考えた場合、不快を感じる条件がガイドラインの値と異なる。これは、IH クッキングヒータから放射される高周波騒音はコイル電流周波数の倍数成分をもつ歪波であることが原因であると考えられる。もしくは、超音波暴露問題と別の問題が重畳している可能性も否定できない。また、可聴周波数帯域の違いによって不快に感じる被験者数が増えた。現在、IH クッキングヒータから受ける健康被害が使用者全員に発生していない。これは、使用者の可聴領域が関係しているのでは

ないかと考えられる。

今後は、高周波騒音以外の不快感の原因や使用者の可聴領域の違いによる不快感の関係を追究する必要がある。

謝辞

本研究は、大学コンソーシアム八王子 産学共同研究助成事業で実施しております。この場を借りて感謝の意を表します。

(2011 年 4 月 12 日受付, 2011 年 9 月 12 日再受付,
2011 年 10 月 18 日再々受付)

参考文献

- [1] 鈴木浪平, 私市広康, 家庭用 IH クッキングヒータ技術, 三菱電機技報, Vol. 80, p. 11, 2006.
- [2] 懸樋哲夫, IH 調理器と電磁波”, 三五館, p. 4, 2005.
- [3] 電磁界の生態影響に関する現状評価と今後の課題, 電気学会電磁会生体影響調査特別委員会, 1998.
- [4] 電磁界の生態影響に関する現状評価と今後の課題 II 期報告, 電気学会電磁会生体影響調査特別委員会, 2003.
- [5] 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暴露研究会, pp. 5-6, 2007.
- [6] 葛西裕生, 米盛弘信, IH クッキングヒータから放射される音と不快感の関係, 第 2 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, pp. 96-97, 2010-12.
- [7] 加銅鉄平, オーディオデータ便利帳, 誠文堂新光社, p. 5, 1998.
- [8] 伊藤洋一, 「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, Vol. 67, No. 5, pp. 194-199, 2011.
- [9] 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, Vol. 67, No. 5, pp. 208-213, 2011.
- [10] 樋渡涓二, 視聴覚情報概論, 昭晃堂, p. 147, 1987.