

家庭用設備機器の低周波音放射及び屋外伝搬に関する研究

Study on the propagation and radiation of low-frequency noise
from household equipment

学籍番号 47-166729
氏名 角谷 純平 (Kadotani, Jumpei)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1 はじめに

1.1 背景

近年、100 Hz 以下の音を指す低周波音の苦情件数は増加傾向にあり社会問題になっている。具体的には、戸や窓の揺れやがたつきといった「物理的現象」や、人に不快感や圧迫感をもたらす「感覚的現象」といった影響がある。その騒音源である家庭用ヒートポンプ給湯機は 2000 年代から広く普及され始め、低周波音の苦情がより顕在化してきた。その家庭用設備機器による騒音対策の一例として、“家庭用ヒートポンプ給湯器の据付けガイドブック”¹⁾がある。ここでは、家屋・音源・塀の幾何学的関係と遮音効果に関する一般的知見が整理されているが、波動性が顕著となる低周波領域において、塀設置が音場に及ぼす影響は不明な点が多い。

1.2 目的

以上の背景を踏まえて、本研究では家庭用設備機器から発生する低周波音を対象に屋外側対策の伝搬現象把握することを目的とし、数値解析において外構塀の影響、隣戸の影響について観察する。本研究から得た知見から低周波音による物理現象を把握し、予測・制御への一助となることを目指す。

2 研究手法概要

2.1 検討対象

半自由空間上に単純な形状の家屋が存在し、その近傍に定常的な低周波音を発生する設備機器が設置されている状況を想定する。

2.2 数値解析手法

低周波音の波動的な現象を考慮する為、波動音響解析の有限要素法 (FEM : Finite Element Method) を用いた定常音場解析を行う。有限要素法は領域全体を節点と要素に分割し、要素間の応力や変位を連立させて解く数値解析手法である。尚、有限要素法において屋外音場のような開領域を模擬するために、人工吸音層 (Perfectly Matched Layer) を設定し領域を打ち切り解析した (図 1)。

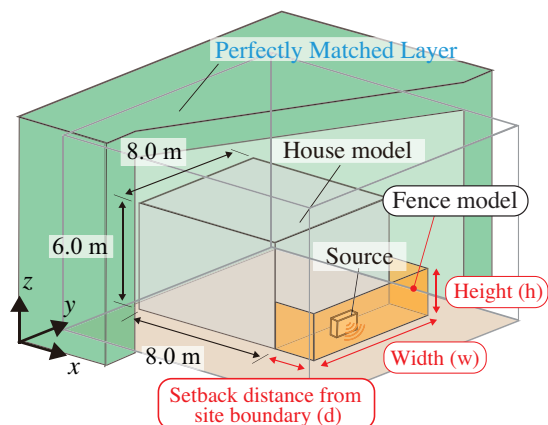


Fig. 1 Numerical model of a sound field around house

3 外構塀と隣戸の影響に関する検討

3.1 外構塀の影響

解析モデル 家屋は図1に示すように8 m × 8 m × 6 mの一般的な2階建ての戸建住宅を想定し、外壁を剛面としてモデル化した。音源はヒートポンプユニットを模擬した直方体(0.3 m × 0.8 m × 0.7 m)を家屋中央に設置し、外側一面に振動速度1 m/sを与えた。塀はJIS A 5406²⁾の建築用コンクリートブロックC種(厚さ0.15 m)を想定し、高さ(h)、外壁後退距離(d)、幅(w)を表1の条件で設定した。塀は正面と両側面に配置しているものとする。

評価方法 各条件における音源面の放射効率を算出した。

3.1.1 解析結果

図2に各条件における音源の放射効率を示す。図中に、塀内y方向の軸モードの固有周波数を参考値として示す。

図2(a)より全条件で概ね塀内の固有周波数付近でピーク・ディップが生じているように見える。しかし第1のピークについては音圧分布を別途確認したところ塀内で一様に分布していた。そのため塀内の空気をバネ、上方開口部の空気質量による鉛直方向の共振によるものと考えられる。一方、

第1のピーク以降のピーク・ディップについて、塀内でy軸方向の2次4次モードに対応して生じていることがわかる。ここでは固有周波数前後で音源面の音圧位相が変化するため、同次でのピーク・ディップが形成されたものと考えられる。さらに音源はモードの節にあたる位置に設置しているため1次3次の奇数モードに対応したピークは励起されていない。

塀の高さの影響 80 Hz付近を境目に周波数特性が変化しており、80 Hz以下では塀が高くなるにつれてピークが低域側にシフトし、80 Hz以上では同様の周波数特性が見られた。

外壁後退距離の影響 概ね両条件とも塀の高さの条件と同様の周波数特性である。外壁後退距離が1 mの条件において、20 Hz以上の全周波数帯域において増加が見られた。剛な反射面である塀では、音源の放射面が塀に近いほど放射効率は上昇すると考えられる。

Table. 1 Conditions of fence

Width of fence	w = 4.0, 8.0 [m]
Height of fence	h = 1.06, 1.63, 2.20 [m]
Setback distance from site boundary	d = 1.0, 2.0 [m]

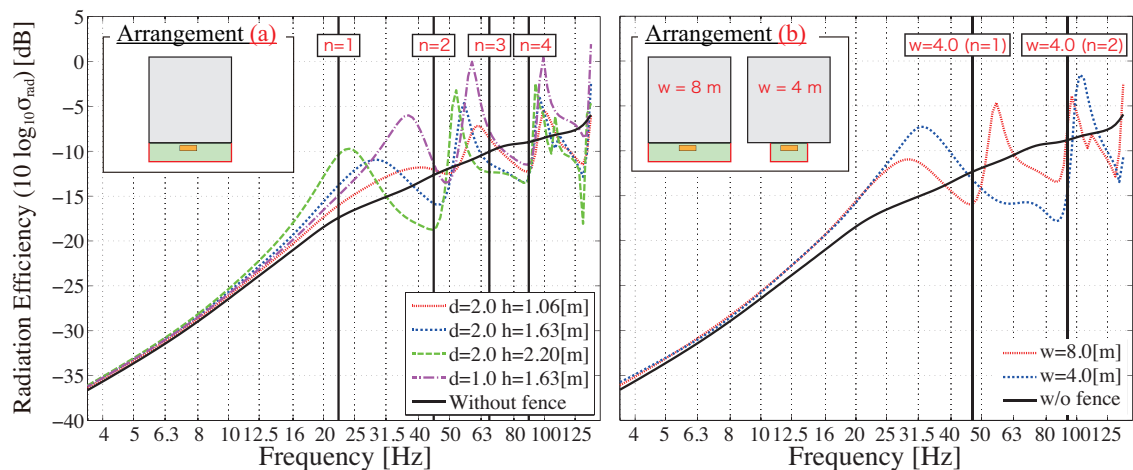


Fig.2 Radiation efficiency of the source for a variety of arrangements of fence

塀の幅の影響 (b)より塀幅 4 m, 8 m ともに顕著なピーク・ディップが生じており, 塀内の音場モードに起因しているものと考えられる。音圧分布から確認すると, 第 1 のピークやそれ以降のピーク・ディップは前述したように鉛直方向のバネマス共振系と塀内長手方向の軸モードに起因して生じていることがわかる。しかし塀幅を 4 m にすることでピーク・ディップの数が減少している。これは 8 m に比べて塀幅が狭く, 塀内長手方向の固有周波数が高域側にシフトしたためと考えられる。

3.2 隣戸の影響

解析モデル 隣戸の影響を検討するため, 前節での家屋モデル(8 m×8 m×6 m)を対面させる配置に設定し戸建住宅が 2 棟存在する状況を想定した(図 3)。音源は前節と同様のモデルを設定し, 塀の条件として高さ 1.63 m, 外壁後退距離 2 m に設定した。塀の配置についても同様に Type A(正面と両側面), Type B(正面のみ), Type C(正面と片側面)の 3 条件を考慮した(図 3)。また隣戸間隔 L については 2 m と 4 m の 2 条件に設定した。

評価方法 各条件における音源面の放射効率及び音源側の隣戸壁面(断面 I)の平均音圧レベルを算出した。

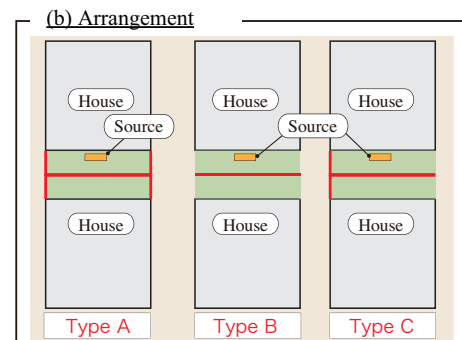
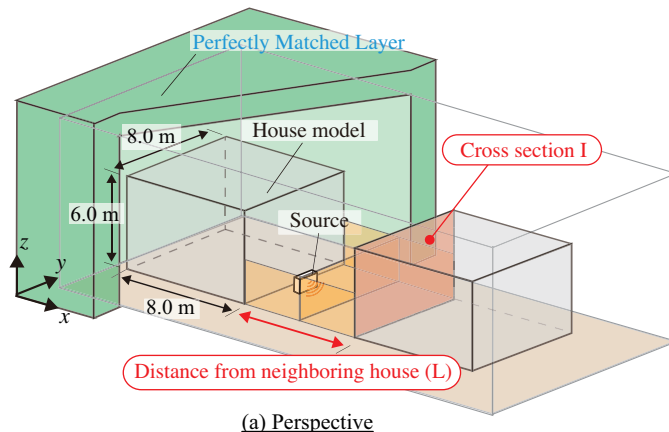


Fig.3 Numerical model of a sound field around house ; (a) perspective, (b) arrangement

3.2.1 解析結果

■音源面の放射効率

図 4 に各条件における音源面の放射効率を示す。図中, 隣戸間隔(L)及び塀内長手方向の固有周波数(4 m)を併せて示す。

(c)外構塀なし 隣戸間隔によらず 20 Hz 付近で最初のピークが生じている。この周波数付近の音圧は一樣に分布していたため, 隣戸間の空気バネと上方・側方開口部の空気質量による共振系によるものと考えられる。隣戸間隔 4 m では家屋幅(y 軸)方向の軸モードによる鋭いピークが 50 Hz 付近で生じているが, 50 Hz 以上では隣戸間隔によらず, 放射効率への影響は比較的小さいことがわかる。

(d)外構塀あり 先ず 20 Hz 付近のピークは塀の影響を殆ど受けないことがわかる。次に全条件で 31.5 Hz 付近に鋭いピークが生じているが, 両側の塀内で音圧が一樣に分布しており, さらに音圧位相が反転していることを確認した。そのため塀内及びその上方空気を介した連成共鳴が生じたものと考えられる。それ以上の周波数では Type A,B,C ともに概ね塀の長手方向軸モードの固有周波数付近でピーク・ディップが生じている。尚, Type A では奇数モード, Type

B では偶数モードで節と音源の位置が一致しモードが励起されないものと考えられる。

■隣戸壁面の平均音圧レベル差

図 5 に断面 I における隣戸設置前後の平均音圧レベル差 (c), 隣戸間への外構塀設置前後の平均音圧レベル差 (d)を示す。尚, (c) には音圧倍増に相当する +6 dB の線を併記する。

(c) 隣戸の影響 隣戸設置によって音圧レベルは全周波数で上昇しているが, 上昇量が 6 dB を上回る周波数は隣戸間隔によって変化することがわかる。31.5 Hz 以下では隣戸間隔が狭い方が音圧レベルは高いのに対して, それ以上の周波数では隣戸対向壁間のモードの影響により, 放射効率及び音圧のピークが隣戸間隔ごとに変化していると考えられる。

(d) 外構塀の影響 全条件において 31.5 Hz 付近で音圧レベルの上昇が見られる。これは放射効率の結果とも対応することから, 隣接する塀内空気の連成共鳴によるものと考えられる。50 Hz 以上の帯域では概ね塀設置前に比べて最大 10 dB の低下が見られた。これは塀内のモードにより放射効率が低下するとともに, 塀内からの放射指向特性が生じたことが一因と考えられる。

4 終わりに

本研究では, 家屋近傍に設置された家庭用設備機器から発生する低周波音を対象として, 屋外音場における外構塀や隣戸の影響を考察した。音源面の放射効率や隣戸外壁面の音圧レベルは塀内の音場モードや隣戸対向壁間のモードに影響を強く受けることが示された。

参考文献

- [1] 日本冷凍空調工業会, 家庭用ヒートポンプ給湯機の据付けガイドブック, 2011
- [2] JIS A 5406 “建築用コンクリートブロック”

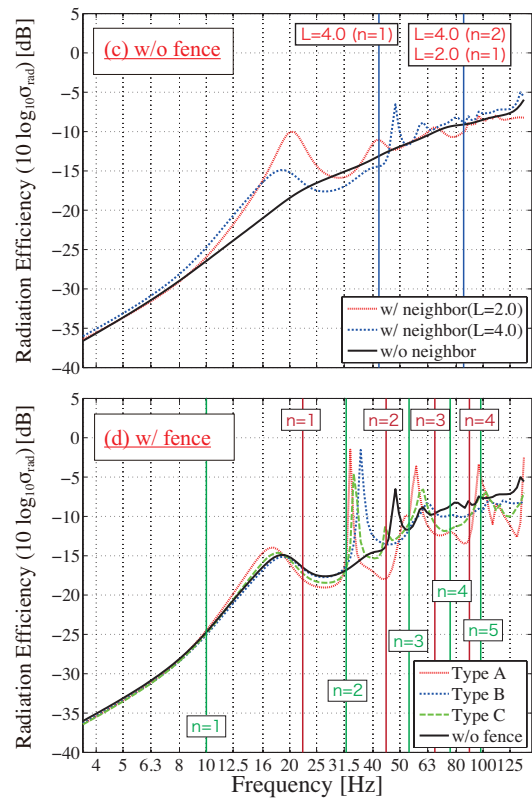


Fig.4 Radiation efficiency of the source for a variety of arrangements of house and fence

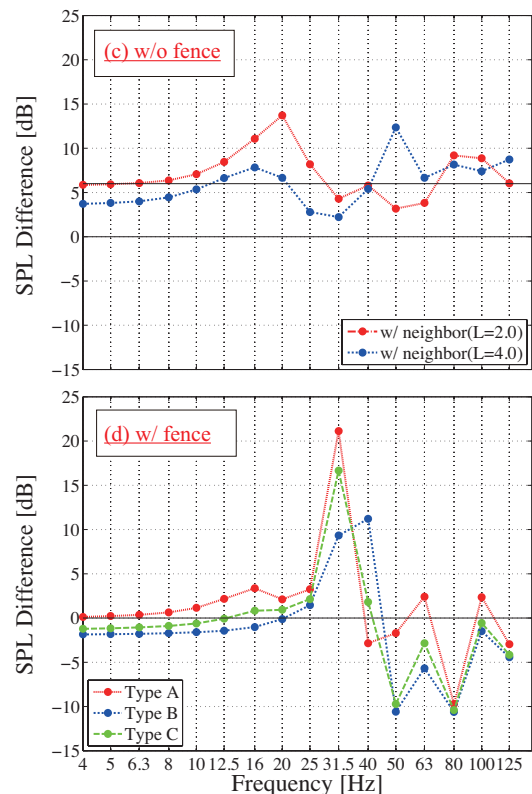


Fig.5 Average sound pressure level difference of the neighborhood front surface for a variety of arrangement of house and fence