

消費者安全法第23条第1項に基づく 事故等原因調査報告書

【概要】

家庭用コージェネレーションシステムから生じる運転音により
不眠等の症状が発生したとされる事案
(消費者安全調査委員会)

事案の概要

P.7,12,13

調査の対象は、家庭用燃料電池コージェネレーションシステム及び家庭用ガスエンジンコージェネレーションシステムから生じる運転音によって、不眠等の症状が発生したとされる事案である。

以下、家庭用燃料電池コージェネレーションシステムを「燃料電池コジェネ」、家庭用ガスエンジンコージェネレーションシステムを「ガスエンジンコジェネ」、燃料電池コジェネとガスエンジンコジェネを総称して「家庭用コジェネ」という。

■ 家庭用コジェネに関する申出及び相談件数

消費者安全調査委員会（以下「調査委員会」という。）に対して事故等原因調査の申出がなされた件数に加えて、消費者庁の事故情報データバンクに登録された相談件数を事案数として集計した。

表 家庭用コジェネに係る事案数

項目	燃料電池 コジェネ	ガスエンジン コジェネ
申出件数 (平成24年10月～平成29年9月)	18	9
事案数 申出件数+相談件数 (平成21年9月～平成29年9月)	58	15

■ コージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムとは、天然ガス、石油、LPガス等を燃料として、燃料電池、エンジン、タービン等の方式により発電し、発電時に生じる排熱を同時に回収するシステムの総称であり「熱電併給」とも呼ばれる。

■ 家庭用コジェネ

家庭用コジェネは、コージェネレーションシステムを一般家庭の設置環境に合わせて小型化し、燃料も都市ガス及びLPガスに対応することで主に戸建ての住宅に設置して、家庭の電力や温水需要に合わせた運転を可能としたものである。

各製品の累積販売台数の状況は、平成29年3月末時点で、燃料電池コジェネは約20.8万台、ガスエンジンコジェネは約14.2万台である。燃料電池コジェネは近年特に販売台数が増加している。

□ 燃料電池コージェネ

燃料電池コージェネは、都市ガスやLPガスから水素を取り出し、燃料電池により、水素と空気中の酸素を反応させて発電すると同時に、発電時の排熱を給湯や暖房に利用する家庭用コージェネレーションシステムである。

燃料電池は化学反応に用いられる材質や水素と酸素の反応方法の違いにより、固体高分子形（PEFC）と固体酸化物形（SOFC）があり、現在、家庭用の燃料電池コージェネとして主に普及しているのは固体高分子形（PEFC）である。

主な音源は、燃料となるガス、水、空気を送るための駆動部を有するポンプ、ファン、ブローア及び駆動部を有さないインバータ装置、補助熱源機がある。

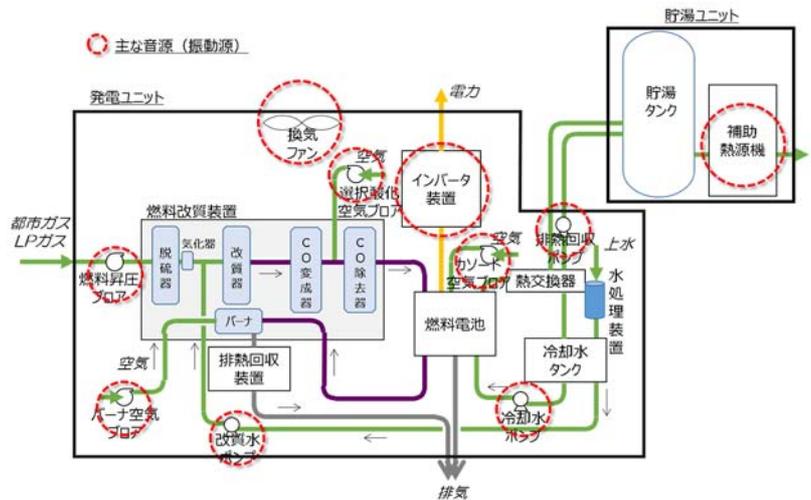


図 燃料電池コージェネの構成例（PEFC型）

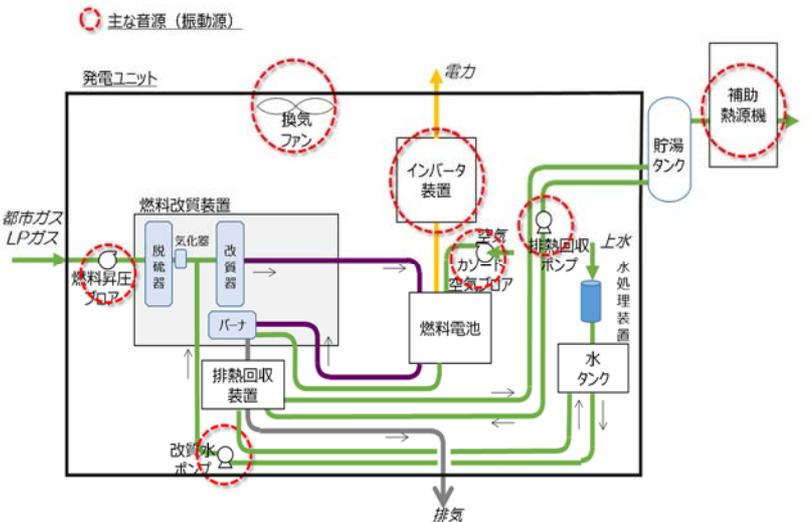


図 燃料電池コージェネの構成例（SOFC型）

□ ガスエンジンコージェネ

ガスエンジンコージェネは、都市ガスやLPガスを燃料とするガスエンジンによって発電機を回転させて発電を行い、その際にガスエンジンから発生する排熱を給湯や暖房に利用する家庭用コージェネレーションシステムである。

主な音源は、ガスエンジンでは回転音に加えて、燃焼に必要な空気を取り入れる際に吸気音、ガスエンジンから燃焼ガスを排気する際に排気音が発生する。このほかに、冷却水等を送るためのポンプ及び駆動部を有さないインバータ装置、補助熱源機がある。

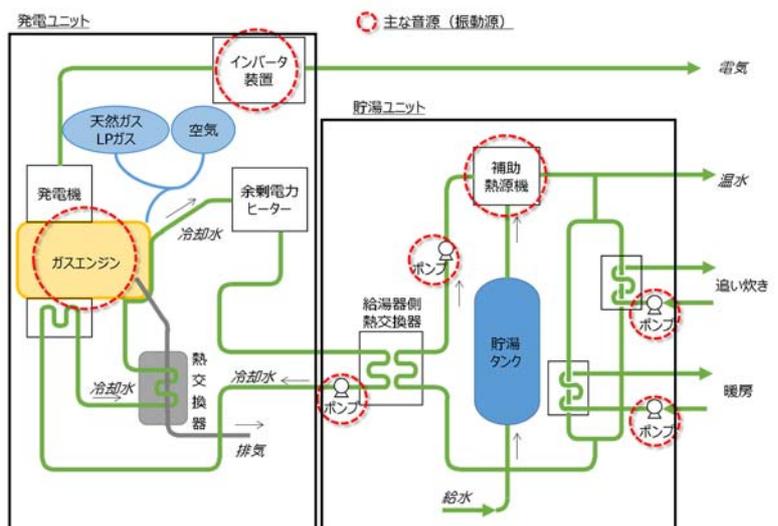


図 ガスエンジンコージェネの構成例

■ 調査対象者聴取り調査

家庭用コジェネから生じる運転音により不眠等の症状が発生したとされる状況を調査するため聴取り調査を実施した。

(燃料電池コジェネ)

表 燃料電池コジェネに係る聴取り調査結果

調査対象者*1			調査対象者症状*2					自宅寝室 設置までの 距離*2	型式	同居者の 発症人数*2 (調査対象者は 含まず)	
No.	年齢 (代)	性別	症状	季節による 違い	自宅及びその他箇所で 楽になる場所	設置時期	発症までの 期間*3			発症 有り	発症 無し
F1	50	女	不眠、動悸、体重減少 不安感、イライラ、胸の圧迫感	不明	家の中にはない 転居し症状消失	平成22年12月	1か月 未済	6m	PEFC	1	1
F2	50	女	耳鳴り、めまい、吐き気、不 眠、浮遊感、ふらつき	—	家の中にはない 道路に出た場所	平成23年3月	1年5か月 後	7m	PEFC	0	2
F3	50	女	不眠、振動過敏、 圧迫感、めまい	冬の方が つらい	家の中にはない 1. 2軒離れた場所	平成25年6月	1か月 未済	5m	PEFC	0	3
F4	40	女	不眠、頭痛、胸の圧迫感	冬の方が つらい	1階風呂 道路に出た場所	平成22年8月	1か月 未済	10m	PEFC	1	2
F5	50	女	不眠、頭痛、ふらつき	—	家の中にはない 一歩外に出た場所	平成26年10月	2か月後	4m	PEFC	0	2
F6	30	女	頭痛、不眠、うつ	—	家の中にはない 家から20m離れた場所	平成25年	(引越後) 1か月 未済	5.8m	SOFC	1	1
F7	80	女	不眠、頭重、肩こり、頻尿	違いは無い	家の中にはない 自宅周辺で楽になる場所も特にな い	平成23年11月	1か月未済	5m	PEFC	0	1
F8	40	男	不安感、イライラ、不眠、胸の圧迫 感、歯の食いしばり、筋肉の緊張	秋冬は特に 感じる	家の中にはない 自宅外に出た場所	平成25年7月	2か月後	3m	PEFC	0	3
F9	40	女	不眠、動悸、胃の不快 体全体の痛み、脱力	冬場、寒さ に比例して いるように 感じる	1階台所近く、2階西側の部屋 家から離れた場所	平成27年9月	1か月後	5m	SOFC	1	0
F10	40	女	耳鳴り、不眠、 低音障害型難聴	—	家の中にはない 門から5m離れた場所	平成26年10月	(引越後) 1か月 未済	3.5m	PEFC	0	3
F11	50	男	不眠、頭痛、耳鳴り、倦怠感、 吐き気、胃痛、下痢、便秘	冬の方が つらい	家の中にはない 自宅周辺では、装置が設置されて いる側の反対側	平成26年11月	1か月 未済	2m	PEFC	0	4
F12	60	女	血圧上昇、心拍数増加、関節痛、 手足の腫れ、爪色の変化、不眠、 耳鳴り、圧迫感、不安感、体重減 少、微熱、吐き気、食欲不振	発電量の多 い季節ほど つらい	2階ベランダ 門の周辺	平成27年3月	1か月 未済	1m	PEFC	1	1
F13	60	男	不眠、耳鳴り、動悸、不安感	冬季は音が 大きく感じら れる	1階ダイニングなど、 西側(装置の反対側)の部屋 屋外	平成26年10月	(引越後) 1か月 未済	7~8m	SOFC	0	2
F14	70	男	不眠	11月~5月 がつらい	1階 外に出ると気にならない	平成26年9月	1か月後	7m	PEFC	0	1
F15	70	男	不眠、振戦悪化、体重減少	冬の方が つらい	家の中にはない 自宅周辺で楽になる場所も特にな い	平成24年1月	1か月 未済	2.5m	PEFC	0	2
F16	40	女	不眠、頭痛、吐き気、頸椎痛、 歯の食いしばり、喘息、 イライラ、脱毛	冬の方が つらい	家の中にはない 実家、外の店、外の施設	平成23年7月	3か月後	15m	PEFC	0	1
F17	60	女	不眠	冬の方が つらい	1階 屋外、商業施設等	平成25年4月	1か月 未済	20m	PEFC	0	1
F18	60	男	耳鳴り	—	家の中にはない 家から離れた場所	平成24年6月	3か月後	7m	PEFC	0	1
F19	60	女	めまい、頭痛、不眠	冬の方が つらい	廊下、洗面所、トイレ 道路に出た場所	平成24年12月	9か月後	4m	SOFC	0	5
計										5	36

*1 ここで示す内容は、聴取り調査を行った時点のものである。

*2 ここで示す症状等は、調査対象者の申告に基づくものである。

*3 「発症までの期間」とは、対象機器が稼働を開始してから調査対象者が発症するまでの期間、又は調査対象者が対象機器近傍の住宅に引越してから発症するまでの期間を指す。

■ 調査対象者聴取り調査
(ガスエンジンコジェネ)

表 ガスエンジンコジェネに係る聴取り調査結果

調査対象者*1			調査対象者症状*2					自宅寝室壁までの距離*2	同居者の発症人数*2 (調査対象者は含まず)	
No.	年齢(代)	性別	症状	季節による違い	自宅及びその他箇所で楽になる場所	設置時期	発症までの期間*3		発症有り	発症無し
G1	30	女	鼓膜の振動、圧迫感、吐き気、動悸、不眠、潰瘍性大腸炎	冬の方がつらい	2階リビング 自宅外	平成20年	3年後	7m	0	3
G2	80	女	不眠、ふらつき	冬の方がつらい	家の中にはない 100m程度歩いた場所	平成20年	5年後	6.7m	2	0
G3	70	男	耳鳴り、不眠	夏の方が感じる	2階寝室 道路に出た場所	平成19年7月	2年後	3m	0	1
G4	40	女	多発性円形脱毛症、不眠、耳鳴り	冬の方がつらい	装置と反対側の 2階北側の部屋等 装置と反対側の隣家境界近く	平成20年	1か月未満	4m	0	2
G5	40	男	不眠、吐き気、頭痛、下痢	—	1階リビング 玄関から20m程度離れた場所	平成26年11月	5か月後	5m	1	2
G6-1	50	男	不眠、頭痛、耳鳴り	不明	廊下、トイレ、浴室 自宅南側など装置から離れた場所	平成20年11月	7年後	4m	0	1
G6-2	40	女	不眠、悪寒、胸の圧迫感、揺れ	不明	廊下、トイレ、浴室 自宅南側など装置から離れた場所		7年後			
G7	30	男	不眠、吐き気、不安感、耳の圧迫感、頭痛	—	自宅(集合住宅3階)の中にはない 道路に出た場所	平成23年	5年後	7m	0	0
G8	60	女	胸の圧迫感、胸痛 不眠	冬の方がつらい	2階の隣家から遠い側の寝室 5~6分歩いたところの公園	平成22年	1か月未満	10m	1	0
計									4	9

*1 ここで示す内容は、聴取り調査を行った時点のものである。

*2 ここで示す症状等は、調査対象者の申告に基づくものである。

*3 「発症までの期間」とは、対象機器が稼働を開始してから調査対象者が発症するまでの期間、又は調査対象者が対象機器近傍の住宅に引っ越してから発症するまでの期間を指す。

調査対象者のうち、一部の者については、家庭用コジェネから生じる運転音の特性を調べるため、調査対象者宅において音測定を実施した。同時に、調査対象者の症状との関連性を調べるため体感調査を実施した。

■ 燃料電池コジェネに関する現地実態調査

表 燃料電池コジェネに関する現地実態調査結果

調査対象者No. (コジェネ設置場所)	発症状況	居室内での音測定結果	体感調査	運転音と症状との関連性
F4 (隣家)	稼働開始後、すぐに発症 借家に引っ越したことで症状改善	燃料電池コジェネの運転音が、知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していた。調査対象者が他の部屋と比べて楽という部屋の音圧レベルは低かった。	調査対象者は、調査開始から調査終了まで運転音が継続していたと認識していた。ただし、一部、他の音により運転音の判別が困難な時間があった。	発症状況と体感調査から燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしている可能性が考えられる。
F12 (自宅)	設置後、すぐに発症 運転停止後は症状改善	燃料電池コジェネの運転音が、知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していた。	—	発症状況から燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしている可能性が考えられる。
F14 (隣家)	設置1か月後に発症	居室内に伝搬する燃料電池コジェネの運転音を知覚することは一般的には困難な状況であった。	調査対象者は、調査開始から翌朝の調査終了まで燃料電池コジェネの運転音が継続していたと認識していた。ただし、翌朝に運転音の継続を認識した時刻は燃料電池コジェネの稼働前と推測される時刻であったため、運転音と体感との対応は不明確であった。	燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていることは確認できなかった。
F17 (隣家)	設置後、すぐに発症	燃料電池コジェネの運転音の居室内への伝搬が確認できなかった。	調査対象者は、調査開始後、一時的に燃料電池コジェネの運転音が停止していたと認識していた。ただし、燃料電池コジェネは、その間も運転を継続していたと推測されたため、運転音と体感との対応は不明確であった。	燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていることは確認できなかった。

■ ガスエンジンコジェネに関する現地実態調査

表 ガスエンジンコジェネに関する現地実態調査結果

調査対象者No. (コジェネ設置場所)	発症状況	居室内での音測定結果	体感調査	運転音と症状との関連性
G4 (隣家)	設置後、すぐに発症	ガスエンジンコジェネの運転音が、知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していた。他の部屋と比べて、比較的楽という部屋の音圧レベルは低かった。	調査対象者は、調査開始から調査終了までガスエンジンコジェネの運転音の継続及び停止を認識していた。	発症状況及び体感調査から、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。
G5 (隣家)	設置5か月後に発症	ガスエンジンコジェネの運転音は、知覚することは一般的には困難な状況であった。	—	ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていることは確認できなかった。
G6-1・G6-2 (自宅)	設置7年後に発症 協議により発電停止して症状改善	ガスエンジンコジェネの運転音が、知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していた。	調査対象者は、調査開始から調査終了までガスエンジンコジェネの運転音の継続及び停止を認識していた。	発症状況及び体感調査から、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。
G1 ※G6-1宅における調査	設置3年後に発症 一般的なガス給湯機に交換して症状改善	ガスエンジンコジェネの運転音が、知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していた。	調査対象者は、調査開始から調査終了までガスエンジンコジェネの運転音の継続及び停止を認識していた。	発症状況及び体感調査から、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。

調査対象者宅においては風、車、その他の機器等、様々な音源の影響があることから、運転音以外の音を極力排除した環境で燃料電池コジェネの運転音を調査するとともに、運転音と症状との関連性を調査するため、無響室を使用した音測定及び体感調査を実施した。

加えて、症状の軽減策としてANC装置、防音エンクロージャ、マスキング音の効果を調査した。

■ 症状軽減策の効果調査（音測定）

表 症状軽減策の効果調査結果（音測定）

	ANC装置	防音エンクロージャ
無響室	制御対象の中心周波数（80Hz～200Hz）の音圧レベルが10dB程度低減した。	中心周波数80Hz以上の音圧レベルが、聴覚閾値と同等以下に低減した。
現地 （調査対象者F12宅）	居室内の制御対象の中心周波数（87.5Hz、100Hz）の音圧レベルが低減した。	—

※ここでいう聴覚閾値（いきち）は、18歳から25歳までの健常者の50%が聞こえる音圧レベルであり、数値は、国際規格ISO 389-7:2005に基づいて示した。

■ 症状軽減策の効果調査（体感調査）

表 無響室における症状軽減策の効果調査結果（体感調査）

調査対象者No. （無響室）	発症状況	ANC装置	防音エンクロージャ
F6	新居に引っ越しして1か月未満で発症	ANC装置の作動及び停止（音圧レベルの増減）と体感が部分的に対応しており、関連性があると考えられた。	不快感が無くなった。
F8	設置2か月後に発症	ANC装置の作動及び停止（音圧レベルの増減）から3～5分後に不快感が変化し、関連性は不明確であった。	不快感が軽減されているが、後半で不快感が上昇した。
F9	設置1か月後に発症	ANC装置の作動及び停止（音圧レベルの増減）と体感が部分的に対応しており、関連性があると考えられた。	「耳が塞がる感じがする。」として不快感が上昇した。

■ 症状軽減策（マスキング音）の効果調査

表 マスキング音の効果に関する体感調査結果

調査対象者No. （コジェネ機種）	発症状況	体感調査結果
F4 （燃料電池コジェネ）	稼働開始後、すぐに発症 借家に引っ越したことで症状改善	燃料電池コジェネ及びマスキング音のいずれも不快には感じないと回答した。ただし、マスキング音に関しては、短時間なら聞き流せる程度、としていた。
F14 （燃料電池コジェネ）	設置1か月後に発症	燃料電池コジェネの運転音に含まれる97Hzのピーク周波数がマスキング音に埋もれる形になり、このとき、調査対象者は、「運転音が消えた。」と回答し、不快を感じなくなった。
G1 （ガスエンジンコジェネ） ※G6-1宅における調査	設置3年後に発症 一般的なガス給湯機に交換して症状改善	ガスエンジンコジェネの運転音に含まれる32Hzのピーク周波数が不快感と関係する周波数と考えられたが、本調査では、およそ90Hz以下の周波数域のマスキング音を十分再生できず、マスキング効果は得られなかった。

調査委員会に寄せられた申出及び消費者庁の事故情報データバンクに登録された相談合わせて73件（平成21年9月から平成29年9月まで）ある中で、調査の協力が得られた8件について現地実態調査を行った結果、燃料電池コジェネで2件、ガスエンジンコジェネで3件の対応関係がみられた。家庭用コジェネの運転音の人体への影響及びそのメカニズムには不明な点もあることから、現時点で家庭用コジェネの運転音と不眠等の症状の関連を断定することはできないものの、今回の調査で個別の事案において対応関係がみられたことから、その関連性は否定できない。

■ 家庭用コジェネの運転音と症状との関連について (燃料電池コジェネ)

ア. 運転音

燃料電池コジェネの音測定を行った4件（調査対象者F 4、F 12、F 14、F 17）では、いずれも運転状態の燃料電池コジェネ近傍における80Hz又は100Hzの共通した中心周波数について、音圧レベルの上昇が確認された。ただし、このうち3件（調査対象者F 4、F 14、F 17）では、運転状態及び停止状態は推測したものである。

イ. 居室内への伝搬

上記4件のうち1件（調査対象者F 4）では、運転状態において、調査対象者の居室内における80Hzの中心周波数について、また、他の1件（調査対象者F 12）では、調査対象者の居室内における80Hz及び100Hzの中心周波数について、音圧レベルの上昇が確認された。このときの音圧レベルは、聴覚閾値（いきち）と同等又はそれ以上であった。音圧レベルの上昇が確認された中心周波数については、FFT分析の結果、ピーク周波数が確認された。

ウ. 調査対象者の症状との対応

上記4件のうち1件（調査対象者F 4）では、調査対象者が比較的楽と感じる居室において、他の居室と比較して80Hzの中心周波数の音圧レベルが小さかったこと、体感調査の結果、燃料電池コジェネの運転状態のときに運転音が継続していると回答していること、燃料電池コジェネの設置後すぐに症状が発生し、借家に引っ越したことで症状が改善されたこと等から、燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

また、他の1件（調査対象者F 12）では、体感調査を行うことはできなかったものの、燃料電池コジェネの設置後すぐに症状が発生し、電源を遮断し運転を停止させると症状が改善したこと等から、燃料電池コジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

他の2件のうち1件（調査対象者F 14）では、運転音を強く感じるという居室では、燃料電池コジェネが運転状態において、運転音を知覚することは一般的には困難な状況であると考えられ、運転音と体感の対応も不明確であった。もう1件（調査対象者F 17）では、運転音の居室内への伝搬は確認できず、運転音と体感の対応も不明確であった。このようなことから、燃料電池コジェネの運転音が2件の調査対象者の症状に影響を及ぼしていることは確認できなかった。

エ. 無響室での調査

他の調査対象者（F 6、F 9）に対して、無響室における体感調査を行ったところ、燃料電池コジェネの運転音のうち、主に80Hzから200Hzまでの音圧レベルをANC装置によって低減させたときに、調査対象者の不快感が軽減されるなど、運転音と体感とが部分的には対応しており、燃料電池コジェネの運転音と調査対象者の症状には関連性があると考えられる。

■ 家庭用コジェネの運転音と症状との関連について

(ガスエンジンコジェネ)

ア. 運転音

調査対象者宅においてガスエンジンコジェネの音測定を行った3件の調査（調査対象者G4、G5、G6-1・G6-2）では、いずれも、運転状態のガスエンジンコジェネ近傍における16Hz、31.5Hzの共通した中心周波数で、音圧レベルの上昇が確認された。調査対象者G4、G6-1・G6-2では63Hzの中心周波数においても音圧レベルの上昇がみられた。

イ. 居室内への伝搬

上記3件のうち1件（調査対象者G4）では、調査対象者宅の一部の居室内では、運転状態において16Hz、31.5Hz、50Hz、63Hz、80Hzの中心周波数について音圧レベルの上昇が確認された。音圧レベルの上昇が確認された中心周波数について、FFT分析の結果ピーク周波数が確認された。

また、他の1件（調査対象者G6-1・G6-2）では、調査対象者宅の居室内では、運転状態において16Hz、31.5Hz、63Hzの中心周波数について音圧レベルの上昇が確認された。音圧レベルの上昇が確認された中心周波数について、FFT分析の結果、ピーク周波数が確認された。このとき31.5Hz、63Hzの中心周波数の音圧レベルは聴覚閾値(いきち)を超えていた。

他の1件（調査対象者G5）では、調査対象者宅の一部の居室内では、16Hz、31.5Hz及びその前後の中心周波数について、運転状態において音圧レベルの上昇が確認されたが、知覚することは一般的には困難な状況であると考えられた。音圧レベルの上昇が確認された中心周波数について、FFT分析の結果ピーク周波数が確認された。

ウ. 調査対象者の症状との対応

上記3件のうち1件（調査対象者G4）では、調査対象者が比較的楽と感じる居室での中心周波数31.5Hzの音圧レベルが、他の居室と比較して小さかったこと、中心周波数50Hzから125Hzまでの範囲では、音圧レベルの上昇がみられなかったこと、体感調査の結果、ガスエンジンコジェネの運転状態では、音が継続していると調査対象者が回答したこと等から、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。

また、1件（調査対象者G6-1・G6-2）では、ガスエンジンコジェネの運転状態で調査対象者が音及び不快を強く感じていたが、他方、停止時には音を感じておらず、運転音と体感とが対応していたこと等から、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。

エ. 調査対象者の症状との対応（別宅における体感調査）

上記3件と別に、調査対象者G6-1宅において調査対象者G1の体感調査を行った。ガスエンジンコジェネが運転状態では調査対象者が音及び不快を感じていたが、他方で、ガスエンジンコジェネが停止状態では不快を感じていなかったことから、ガスエンジンコジェネの運転音と体感とが対応しており、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。

■ その他症状の発生に影響する可能性がある因子について

その他症状の発生に影響する可能性がある因子としては、住宅固有の音の伝搬特性、音に対する知覚の個人差があり、これらが症状の発生に複合的に関与している可能性が考えられる。このうち、前者について住宅における定在波の測定を行ったところ、燃料電池コジェネが隣家に設置された調査対象者F4及びガスエンジンコジェネが隣家に設置された調査対象者G5のいずれの場合でも、運転音に含まれるピーク周波数に近い共鳴周波数がみられ、居室の中において定在波の影響の可能性があると考えられる。

家庭用コジェネの運転音の人体への影響及びそのメカニズムには不明な点もあること並びに駆動部をもつ機械製品であるため運転音を無くすことは不可能であることから、現時点においては、運転音による不眠等の症状の発生を根本的に防ぐことは困難である。しかしながら、今後の普及が見込まれるシステムであることを考慮し、症状発生の可能性をできるだけ低減させるという観点から、製造事業者において、製品における運転音低減の従来行っている取組に加え、運転音に含まれるピーク周波数の改善の検討が求められる。製造事業者及び販売事業者は、自宅のみならず隣家への影響があることから、消費者が設置場所、運転時間に関する配慮について理解して購入できるように、必要な情報提供を行うことが重要である。また、運転音に関する問題が発生した場合には、正確な原因把握を行い、具体的な対応を提案するなどの従来への対応を継続すべきである。その際、問題が継続する可能性を想定し、製品の設計段階において対策を検討し、個々の事案に応じて、症状の軽減策を迅速に提案できるようにすべきである。

これらの対策と並行して、関係行政機関による適切な対応及び研究の推進が求められる。

■ 症状発生の可能性を低減させる対応

1 家庭用コジェネにおける運転音の改善

燃料電池コジェネの運転音に含まれる80Hzから200Hzまでのピーク周波数の音圧レベルを低減したところ、調査対象者の不快感が軽減された事例（調査対象者F6、F9）があった。この事例を踏まえ、製品のモデルチェンジの際などに運転音低減に向けた従来への取組に加えて、運転音に含まれるピーク周波数の音圧レベルを低減することの検討が求められる。

2 消費者への周知

家庭用コジェネの販売事業者は、製品のカタログに運転音に配慮した設置について記載しており、また、燃料電池コジェネに関しては燃料電池実用化推進協議会によって施工業者向けに据付けに関するガイドブックが発行されている。こうした取組のほか、家庭用コジェネが運転音を発する機器であること及び自宅又は隣家等の家庭用コジェネの運転音による不眠等が一部報告されていることについては、消費者が製品の購入を検討する際に必要な情報であり、消費者へ確実に伝達されるべきである。

■ 問題発生時の対応（付加装置の設置による症状の軽減策）

既に設置されている家庭用コジェネにおいて、運転音によって不眠等の症状が発生したとの訴えがあった場合、製造事業者及び販売事業者は、個々の事案における症状の軽減に向けて積極的に情報収集し、正確な原因把握を行い、夜間に発電を抑制する設定の活用、部品の交換、場合によっては機器の移設、設置方向の変更、防音対策など、症状を軽減する方策を検討し提案するとともに、その履行がなされるように取り計らうなどの、従来の対応を継続して行うことが求められる。その上で、症状を軽減する方策の選択肢の一つとして、ANC装置や防音エンクロージャなどの音源側で行う対策や、マスキング音などの受音側で行うことができる暫定的な対策又はこれらの組合せによる対策についても、製品の設計段階において検討し、訴えがあった場合に迅速に提案できるようにすべきである。

（1）ANC装置

調査対象者F12宅及び無響室において、燃料電池コジェネにANC装置を適用したところ、80Hzから200Hzまでの周波数域において音圧レベルが10dB程度低減し、その周波数域に含まれるピーク周波数の音圧レベルが低減した。ANC装置は、音源側における対策として、燃料電池コジェネの運転音及びそれに含まれるピーク周波数の音圧レベルの低減に有効である。本調査においてはガスエンジンコジェネに対して検証を行わなかったが、ANC装置の原理上、運転音及びそれに含まれるピーク周波数の音圧レベルの低減効果が期待される。

なお、本調査においては、ANC装置を受音側に配置した場合にも、燃料電池コジェネの運転音のうち、ピーク周波数の音圧レベルを低減させることができたことから、受音側における対策としても期待される。

（2）防音エンクロージャ

燃料電池コジェネについて防音エンクロージャを設置することで、80Hz以上の周波数域で音圧レベルが低減された。また、調査対象者の症状が軽減された事例（調査対象者F6）があった。防火や給排気などの課題を解決し、症状の軽減策の一つとして、防音エンクロージャの開発を検討すべきである。

（3）マスキング音

マスキング音により、燃料電池コジェネの調査対象者の症状が改善された事例（調査対象者F14）があった。マスキング音そのものを耳障りと感じる可能性もあるが、受音側で実施できる暫定的な症状の軽減策の一つとして、製品に対応したマスキング音による症状の軽減策の可能性について、検討すべきである。

■ その他必要な対応

調査対象者からの聴取りによれば、家庭用コジェネの運転音に関する相談に対する地方公共団体や製造事業者の対応に、「低周波音問題対応の手引書における参照値の取扱の再周知について」（平成26年12月）が十分に行き渡っていないと推察される事例があった。

具体的には、地方公共団体や販売事業者が音測定を行い、その結果について「低周波音による心身に係る苦情に関する参照値」を基準として、「参照値以下の音圧レベルであり、問題はない」と判断したという事例である。

症状の発生には、音に対する知覚の個人差等も影響すると考えられ、低周波音による影響の可能性について慎重な判断が必要な場合がある。

また、運転音による影響に個人差があることについて、本調査では、同一の住宅に同居していても症状を訴える者と訴えない者がいた。家庭用コジェネの運転音の人体への影響の解明は、製品改良等や、症状が発生したときの対応等の検討に寄与すると考えられる。

1 経済産業大臣への意見

経済産業省は、次の（１）から（３）までの取組を行うべきである。また、消費者庁に対して、それらの取組について情報提供すべきである。

- （１）家庭用コジェネの運転音に含まれるピーク周波数の音圧レベルの低減に一定の効果がみられたことを示した本報告書も参考にしながら、家庭用コジェネの運転音の改善の検討を続けるよう、製造事業者を促すこと。
- （２）家庭用コジェネが運転音を発する機器であること及び自宅又は隣家等の家庭用コジェネの運転音による不眠等が一部報告されていることについては、消費者が製品の購入を検討する際に必要な情報であり、消費者へ確実に伝達するための方策の検討を行うよう、製造事業者及び販売事業者を促すこと。
- （３）家庭用コジェネの運転音による症状の訴えがあった場合には、個々の事案について積極的に情報収集し、正確な原因把握や夜間運転停止プログラムの活用等の対応を行うなど、症状の軽減に向けた具体的な方策を検討し、提案するとともに、その履行がなされるように取り計らうなどの対応を行うよう、製造事業者及び販売事業者を促すこと。具体的な方策の検討に当たっては、上記の従来の取組に加え、本報告書で有効性が示されたANC装置、防音エンクロージャ及びマスキング音なども選択肢の一つとすること。

2 環境大臣への意見

環境省は、次の（１）及び（２）の取組を行うべきである。また、消費者庁に対して、それらの取組について情報提供すべきである。

- （１）家庭用コジェネの運転音の人体への影響について、医学的知見を得ながら、総合的な研究を推進すること。
- （２）現場での音の測定値が「低周波音による心身に係る苦情に関する参照値」以下であっても低周波音の影響の可能性について慎重な判断を要する場合があることを、引き続き周知徹底すること。

3 公害等調整委員会委員長への意見

公害等調整委員会は、紛争となった場合の地方公共団体における適切な公害苦情対応について、引き続き地方公共団体に対して指導、助言を行うべきである。また、消費者庁に対して、その取組について情報提供すべきである。

4 消費者庁長官への意見

消費者庁は、家庭用コジェネから生じる運転音によって不眠等の症状が生じたとの相談への対応方法並びに経済産業省、環境省及び公害等調整委員会の協力を得て、入手した症状の軽減や苦情の相談先に関する有用な情報を地方公共団体に周知すべきである。

■ 現地音測定及び体感調査

調査対象者宅及び無響室における音測定及び体感調査から、不眠等の症状を訴える者の体感に影響していると考えられる運転音の周波数、音圧レベルの特性を分析した。このとき、一部の申出者が原因であるとしている“低周波音”を含めた、200Hz以下の周波数域にも着目した分析を行うこととした。

□ 燃料電池コジェネ（調査対象者F4の事例）

燃料電池コジェネ近傍、2階洋室で、80Hzの中心周波数において、停止状態と比べて運転状態（推測）のときに音圧レベルの上昇がみられた。このとき燃料電池コジェネ近傍で約10dB、2階洋室で約6dB上昇している。特に2階洋室での中心周波数80Hzの音圧レベルは約30dBであり、聴覚閾値（いきち）（31.5dB）と同等であった。

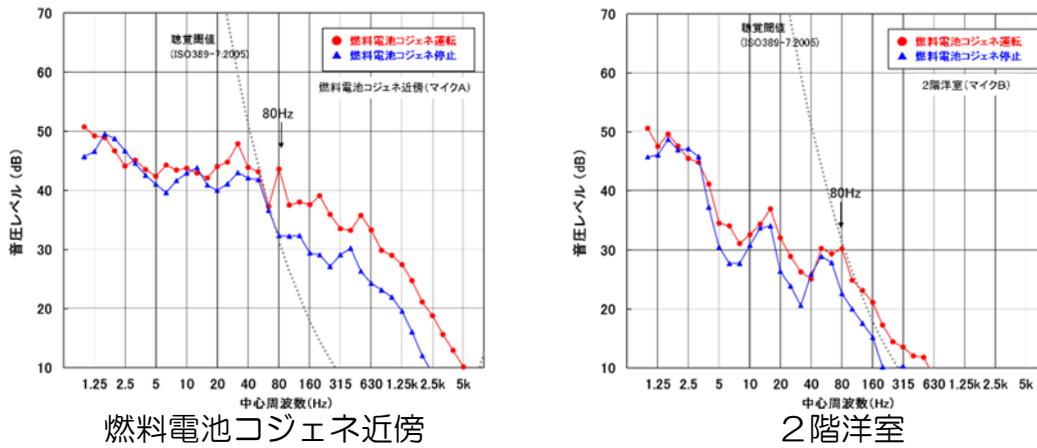


図 1/3オクターブバンド周波数分析結果

体感調査では、17時頃の調査開始から23時頃の調査終了まで、一部の時間を除き、「（音が）継続している。」という回答であった。

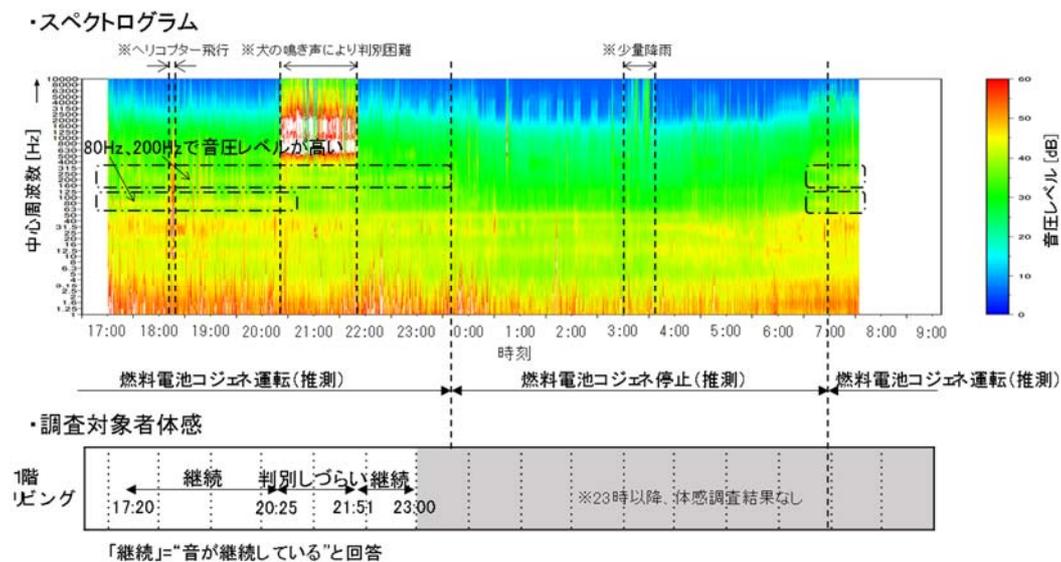


図 体感調査結果

調査対象者F4に係る調査においては、燃料電池コジェネの運転音が知覚可能な音圧レベルで居室内に伝搬していると考えられ、調査対象者の発症状況及び体感調査の結果から、運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

■ 現地音測定及び体感調査

□ ガスエンジンコジェネ（調査対象者G4の事例）

ガスエンジンコジェネ近傍では、運転状態において16Hz、31.5Hz、50Hzから125Hzまでの中心周波数で音圧レベルの上昇がみられた。1階和室では16Hz、31.5Hz、50Hzから125Hzまでの中心周波数で音圧レベルの上昇がみられた。このうち80Hzから125Hzまでは、聴覚閾値(いきち)と同等であった。

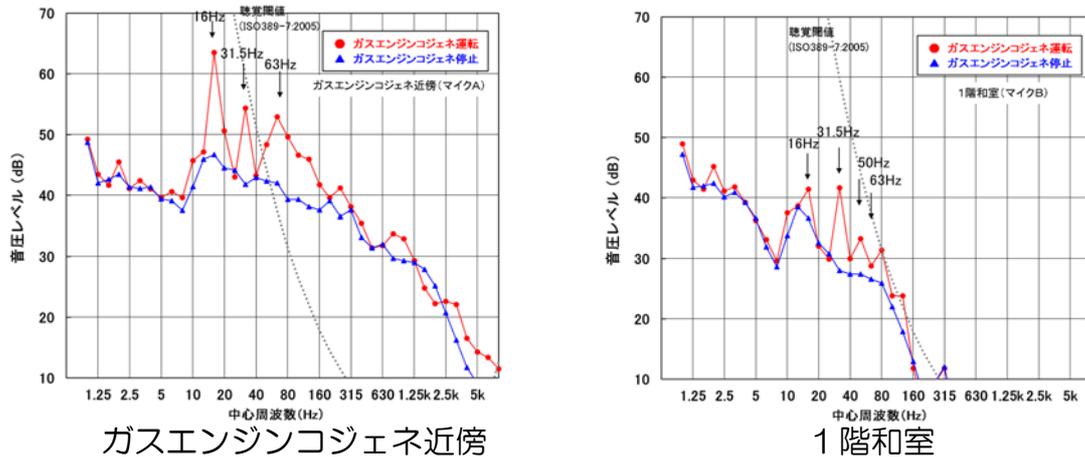


図 1/3オクターブバンド周波数分析結果

体感調査では、調査対象者は調査開始から終了まで、就寝中を除いて、ガスエンジンコジェネが運転しているときには「(音が) 継続している。」と回答し、停止しているときには「(音が) ない。」と回答した。

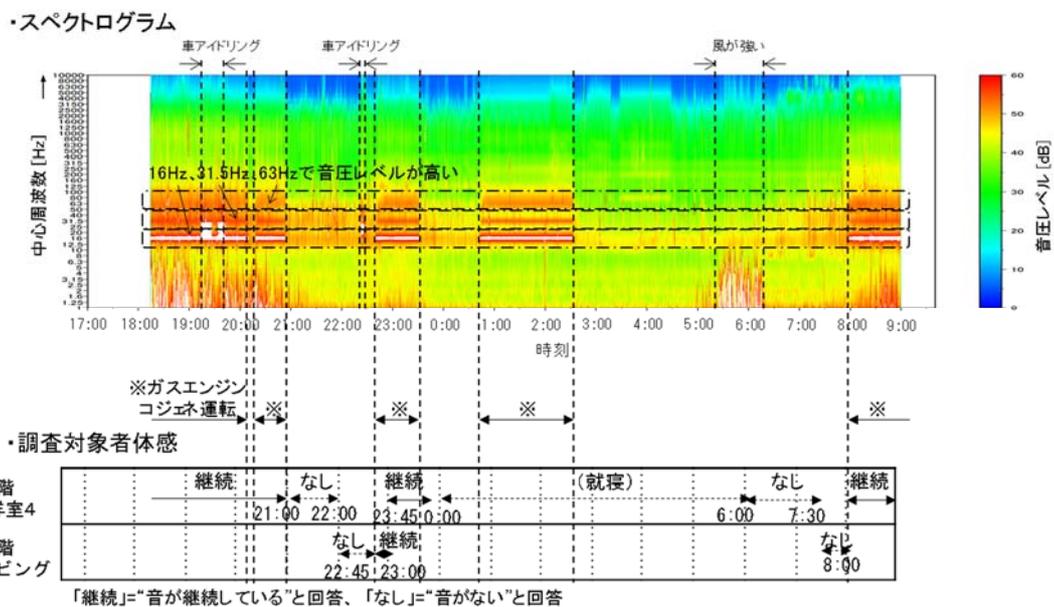


図 体感調査結果

このようなことから、ガスエンジンコジェネの運転音のうち中心周波数80Hz前後の音が知覚可能な音圧レベルで1階和室に伝搬していることが考えられる。

調査対象者G4に係る調査においては、調査対象者はガスエンジンコジェネの運転音の継続及び停止を認識し、運転音と体感とが対応しており、ガスエンジンコジェネの運転音が調査対象者の症状に影響を及ぼしていると考えられる。

■ 無響室における音測定及び体感調査

□ ANC装置

体感調査に当たっては、燃料電池コジェネを計画的に運転又は停止する必要があるが、燃料電池コジェネの運転又は停止には1時間以上の移行時間が必要となる。

そこで、燃料電池コジェネの運転又は停止の代替策として、対象とする音波に対して波形が逆の音波をスピーカから発生させ、音の干渉の作用を利用して音圧レベルを低減するActive Noise Control装置（以下「ANC装置」という。）を利用し、燃料電池コジェネの運転音に対して任意に音圧レベルを低減させる方法を採用した。

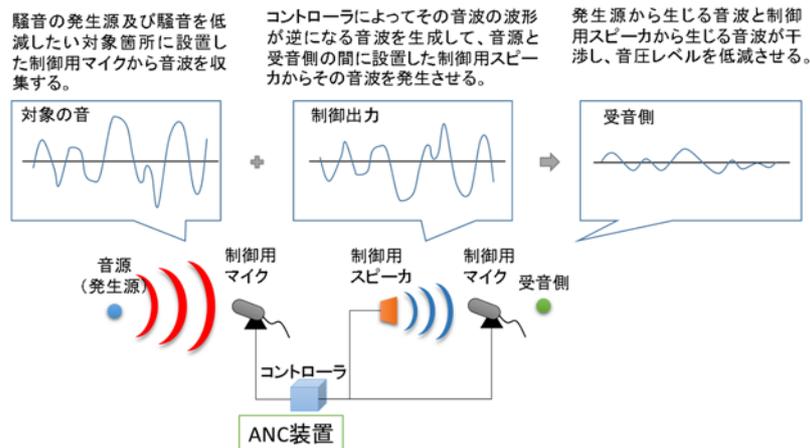


図 ANC原理

ANC装置の制御対象とする燃料電池コジェネの運転音の周波数は200Hz以下とした。ANC装置を作動した場合に、80Hzから200Hzまでの中心周波数において、10dB程度音圧レベルが低減した。特に、80Hzから125Hzまでの中心周波数では、聴覚閾値（いきち）と同等かそれ以下の音圧レベルになった。なお、制御範囲以外では、ANC装置の作動により音圧レベルが上昇しているところもあった。

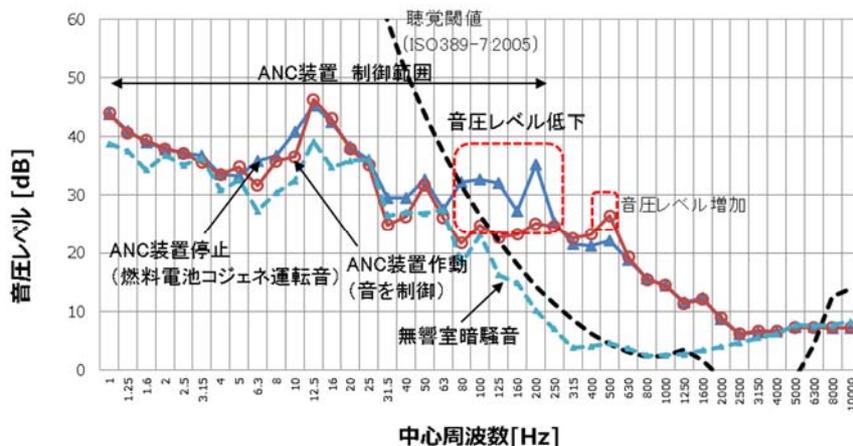


図 1/3オクターブバンド周波数分析結果（ANC装置）

□ ANC装置

調査対象者F6は、1回目にANC装置を作動させた際には体感に変化はなかったが、2回目にANC装置を作動させたところ、音、振動（圧迫感）及び不快を感じる強さが低下した。併せて、振動（圧迫感）、頭痛、耳鳴りについても一時的に解消された。

このようなことから、ANC装置の作動又は停止による運転音の音圧レベルの増減と体感とが部分的に対応しており関連性があると考えられる。

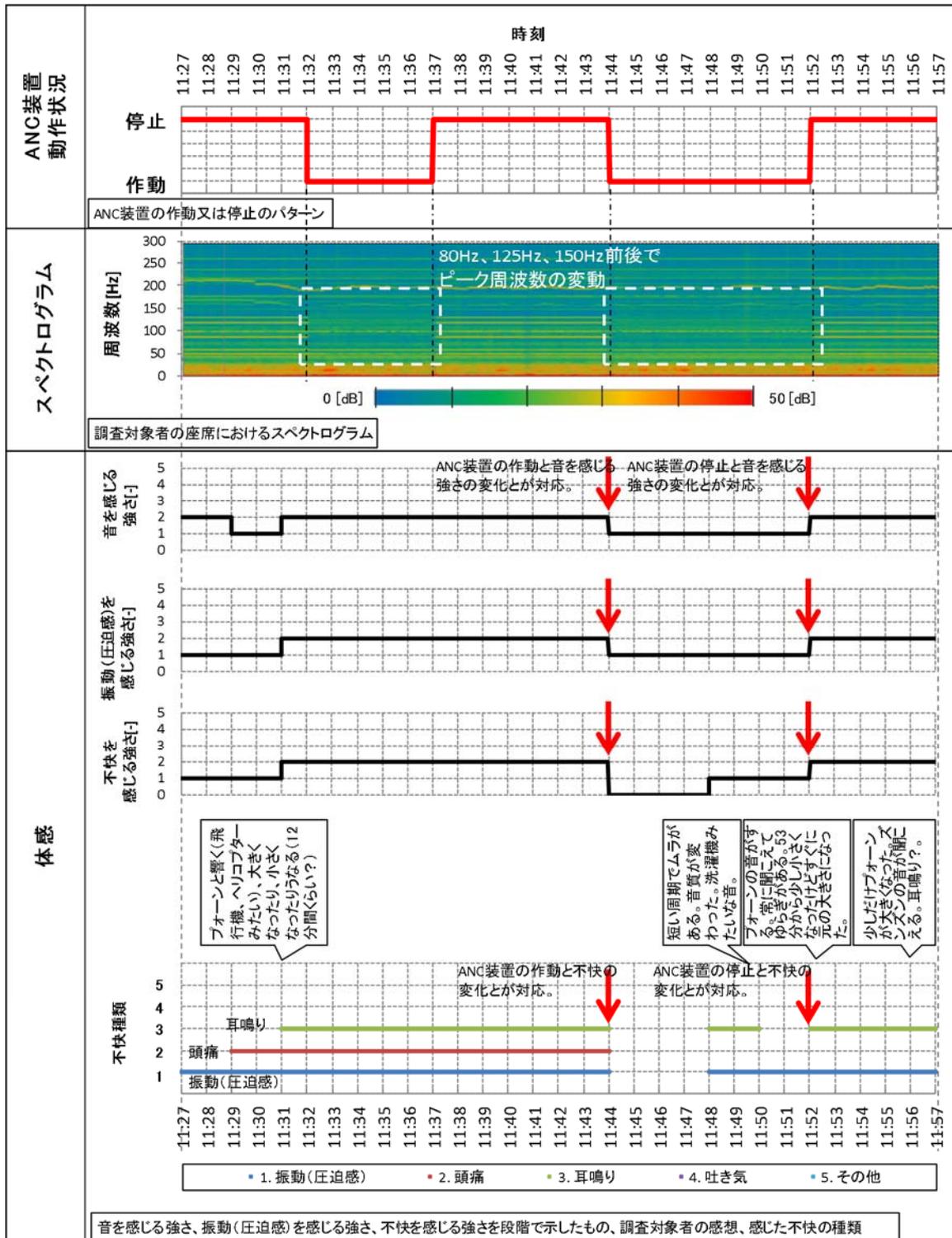


図 無響室における体感調査結果 (ANC装置)

■ 不眠等の症状の軽減策の調査

運転音の「発生源」における軽減策として家庭用コジェネを囲うケースである防音エンクロージャ及びANC装置、「受音側」における軽減策としてANC装置及びマスキング音について、音測定及び体感調査を実施した。

□ ANC装置

無響室において、燃料電池コジェネに対し、ANC装置を作動又は停止させた際の音測定及び調査対象者の体感の変化について調査を行った。結果については前述のとおりであり、ANC装置の作動又は停止による燃料電池コジェネの運転音の変化がみられ、運転音と調査対象者の体感とが部分的に対応していた。

□ 防音エンクロージャ

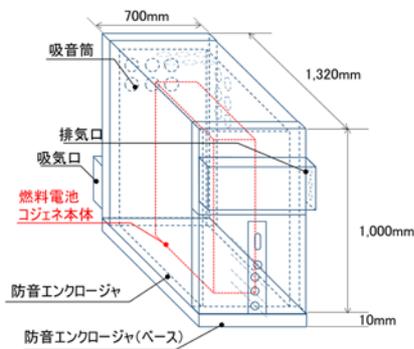


図 防音エンクロージャ

本調査で用いた防音エンクロージャは、吸音性能に優れた吸音筒と呼ばれる吸音材を多数配置した遮音パネルを、燃料電池コジェネの発電ユニットに対し、全方位に配置して囲んだものである。このとき、床面は発電ユニットを設置する構造上、吸音筒を配置した遮音パネルを利用することはできないが、遮音性能を持つ遮音パネルを設置し、装置の全ての面に対して対策を講じた。また、発電等に必要な空気の吸気口及び排気口にも吸音の対策を施した。

防音エンクロージャの設置前と比べて、防音エンクロージャを設置することで80Hzから2,000Hzまでの中心周波数で、10dBから20dB程度音圧レベルが低減し、ほぼ、燃料電池コジェネ停止状態（無響室の暗騒音）と同等の音圧レベルであった。特に1,250Hzまでの中心周波数では、聴覚閾値（いきち）と同等かそれよりも下回った音圧レベルとなった。

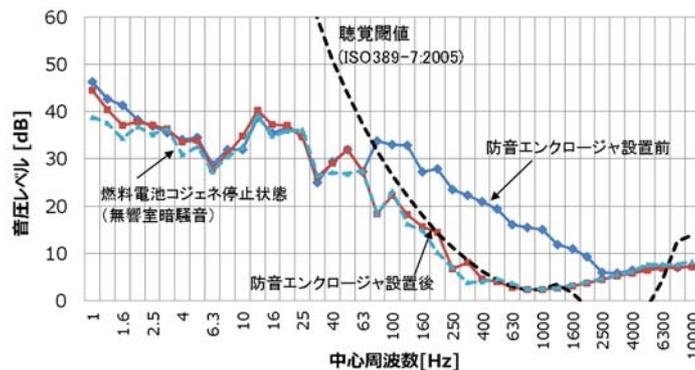


図 1/3オクターブバンド周波数分析結果（防音エンクロージャ）

□ 防音エンクロージャ

調査対象者F6は、防音エンクロージャの設置前においては、音、振動（圧迫感）及び不快を感じていたが、防音エンクロージャの設置後は、音、振動（圧迫感）及び不快をいずれも感じていなかった。

なお、調査開始時には耳鳴りがあり調査中は継続していたが、調査終了時には「無くなった。」と回答した。

このようなことから、防音エンクロージャの設置により不快感が無くなったと考えられる。

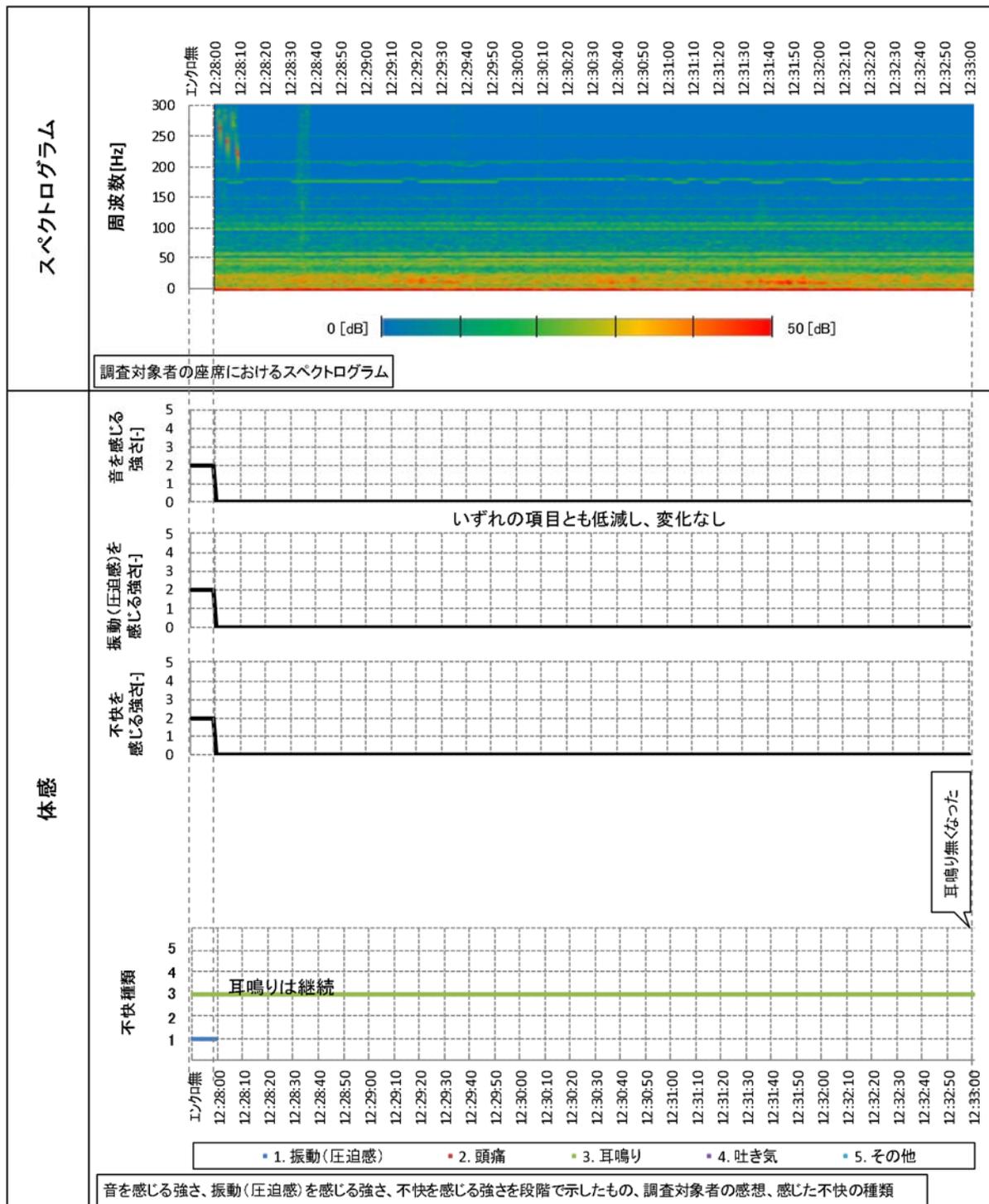


図 無響室における体感調査結果（防音エンクロージャ）

□ マスキング音

ある音の聴取りが別の音の存在によって妨害を受けることを聴覚マスキング現象という。この聴覚マスキング現象に基づいてマスキング音を設計し、放射することで、特にピーク周波数を持つ騒音の不快感を軽減することができる。図は、ピーク周波数に対応した適切な周波数幅のマスキング音により、点線で囲まれた領域でマスキング効果を得られる一般的な原理を示している。本件事案では受音側の暫定的な対策の一つとして、調査対象者宅においてマスキング音を利用した症状の軽減策について検証を行った。

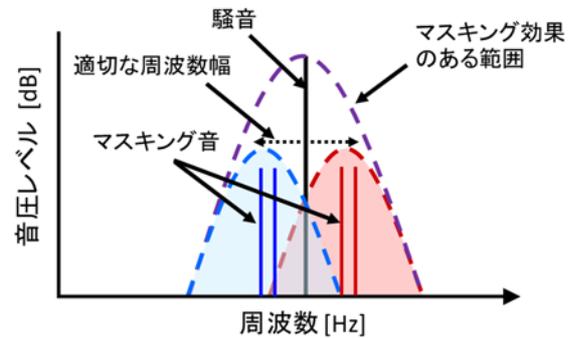


図 マスキング原理

(燃料電池コジェネ)

マスキング音を発生させたところ、97Hzのピーク周波数はマスキング音の幅広い周波数域の音に埋もれる形となった。

調査対象者F14はマスキング音を発生させる前には、燃料電池コジェネの運転音を感じ不快であるとしていたが、マスキング音を発生させることによって、これまで気になっていた「(燃料電池コジェネの)運転音が消えた。」として、燃料電池コジェネの運転音を感じず、不快も感じないと回答した。

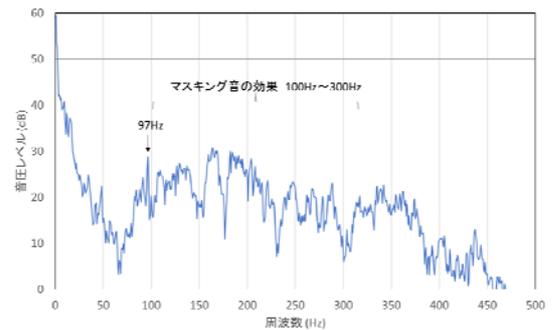
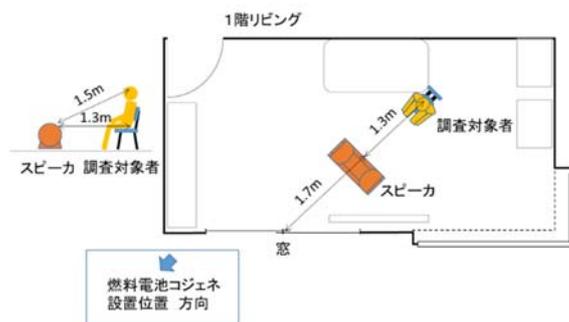


図 マスキング調査概要及びFFT分析結果

別の調査対象者F4は、気になる燃料電池コジェネの運転音について、マスキング音を発生させる前には「“カラカラ”という音を感じる。」としていたが、マスキング音を発生させた際には、「マスキング音の“ザー”という音だけを感じる。」とし、燃料電池コジェネ及びマスキング音のいずれも不快には感じないと回答した。ただし、「短時間なら聞き流せる程度である。」としている。なお、音量を上げた場合、「“ザー”という音が耳障りである。」とし、同様に音量を下げた場合、「“ザー”という音と“カラカラ”という音の両方を感じる。」としていた。

(ガスエンジンコジェネ)

調査対象者G1は、気になるガスエンジンコジェネの運転音とマスキング音を別々の音として認識し、「マスキング音はガスエンジンコジェネの運転音よりも高い音である。」と回答し、調査対象者の症状は軽減されなかった。最も音圧レベルが高い32Hzのピーク周波数が、調査対象者が気になるガスエンジンコジェネの運転音であると考えられるが、本調査ではおよそ90Hz以下の周波数域のマスキング音を十分再生できず、マスキングの効果を得られなかったと考えられる。

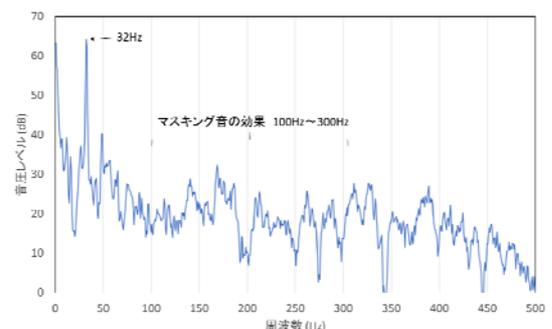


図 FFT分析結果

◇ 音とは

一般に音とは、空気の微小な圧力変動である。音は、一種の波（密度が「密」の領域と「疎」の領域が交互に現れる波）として、空気中を伝わり、それが人間の鼓膜を振動させることによって、人は音として知覚する。空気中を伝わる音波（音）の1つの波の長さ（「密」から「密」まで又は「疎」から「疎」までの長さ）を波長という。波長の単位は、長さの単位であるメートルを用いる。

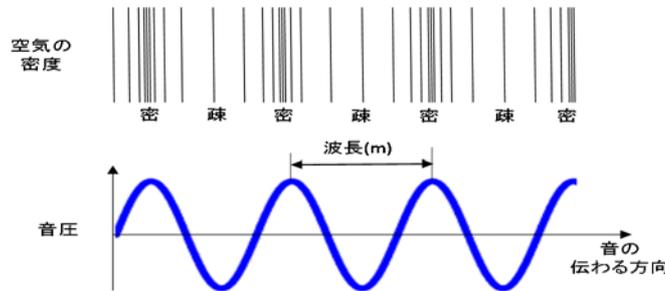


図 音波の伝わり方と音圧

◇ 音圧の大きさ

空気の圧力変動の大きさを音圧という。音圧が大きい場合は大きな音、音圧が小さい場合は小さな音として聞こえる。すなわち、音圧の大小が音の大小に対応している。しかし、音圧の大きさの変化と人の聞こえ方の変化とは単純に比例していない。このような人間の感覚に近い音圧の大きさの尺度として音圧レベルが用いられ、単位は、デシベル (dB) を用いる。

◇ 音の高さと低周波音

1秒間当たりの空気の圧力変動の回数を周波数という。周波数が大きい（高い）場合は高い音、小さい(低い)場合は低い音として聞こえる。音の高さは周波数で表し、単位はヘルツ (Hz) を用いる。

身近な音に例えると、通常のドレミの「ド」にあたるド (C4) の周波数は約262Hz、ラ (A4) の周波数は440Hzである。その2オクターブ下のラ (A2) は110Hz、更に2オクターブ下のラ (A0) (ピアノの一番左の鍵盤) は27.5Hzである。なお、ピアノの一番右の鍵盤は、ド (C5) の音であり、周波数は4,186Hzである。

また、低周波音とは周波数が小さい（低い）音である。低周波音は、船、飛行機、大型の自動車などのエンジン音や、真空ポンプ、ボイラー、空気圧縮機や送風機等の運転音にも含まれている。自然界の音としては、大きな滝の水が落ちる音、波が防波堤で砕ける音などに含まれている。下図は、低周波音の中で、10Hzの音と40Hzの音と80Hzの音の圧力変動の様子を示している。

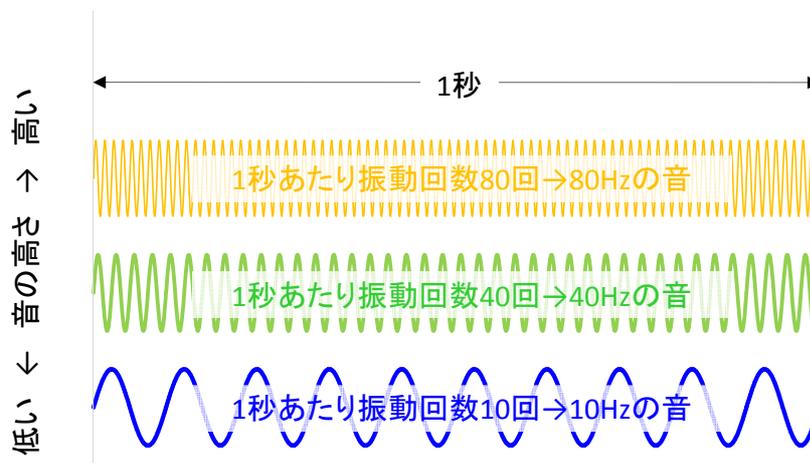


図 周波数と音の高さの関係

◇ 音圧レベルと知覚

音に対する人の感度は、音の周波数によって異なる。一般に、2,500Hz~4,000Hz付近が最も感度がよく、それ以下ではおおむね周波数が低くなるほど感度が鈍くなるため、下図の曲線に示すように、低周波音は大きな音圧レベルでなければ聞こえにくくなる。例えば、80Hzの音では1,000Hzの音に比べて約30dB（音圧では約32倍）、40Hzの音では約50dB（音圧では約316倍）大きな音圧レベルでなければ、人は音として知覚することができない。なお、音の聞こえ方には個人差があり、同じ大きさの音でも聞こえる人と聞こえない人がいる。このため、聞こえる領域と聞こえない領域の境界線は、幅を持っていると考えられている。この境界線のことを聴覚閾値（いきち）と呼ぶ。

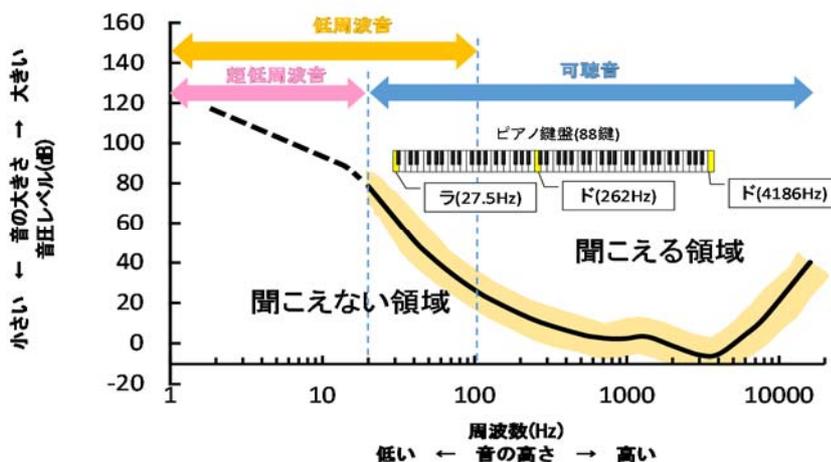


図 人が音を知覚する周波数と音圧レベルの領域

◇ 音色と不快感

通常音には様々な周波数の音が混在しており、これらの音の周波数と大きさなどの組合せによって、その音の「音色」が決まる。

どのような周波数の音がどの程度混ざっているかを分析すると、ある周波数の音圧が極端に大きい場合があり、その周波数を「卓越周波数」と呼ぶことがある。また、一つの卓越周波数が特に大きい場合、「純音性が高い」という。純音性が高い音は、耳につきやすいため不快感につながり、一般的に苦情の対象になりやすいことが知られている。

また、低周波音が健康に与える影響、症状の発症の条件、生理的な発症メカニズム等については、世界的に様々な研究が行われているが、学術的な評価が定まっているわけではなく、不明な点も多い。

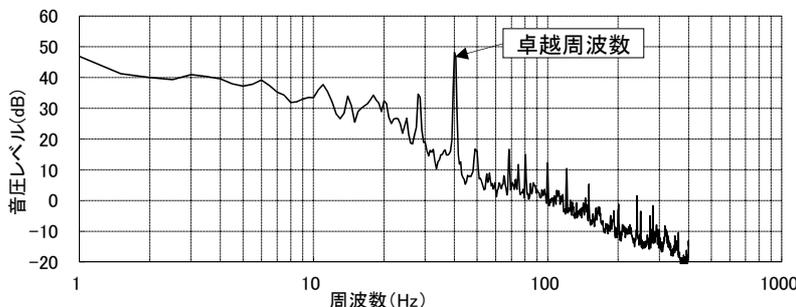


図 卓越周波数の例

本報告書では、FFT分析（狭帯域高速フーリエ変換分析。周波数分析の手法の一つであり、様々な周波数の音が含まれている音に対し、どの周波数の音がどの程度含まれているかを分析するものである。）した場合に純音性の高い音であって、前後の周波数と比べて音圧レベルが6dB以上大きい単一周波数の音を、「ピーク周波数」と呼ぶこととしている。