

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420615

研究課題名(和文) 精神作業の効率に及ぼす変動性低周波音の影響調査と評価方法に関する研究

研究課題名(英文) Investigation of effect and evaluating method of fluctuating low frequency sound on efficiency of mental task

研究代表者

松田 礼 (MATSUDA, Hiroshi)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：30469580

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、変動性低周波音が人体に及ぼす影響について、心理・生理反応から測定し、感覚閾値以上の低周波音が精神作業の効率に及ぼす影響について検討した基礎的研究である。変動性低周波音は純音を構成する周波数をキャリアとし、これを振幅変調させて変動周期と振幅変調レベルを変えて作成した。変動性低周波音を全身暴露すると、安静時に対して交感神経が優位に働き、すなわちストレス反応が生じ、搬送波周波数が小さくなると不快感を強く感じる。また、変動性低周波音を暴露しながら精神作業(単純作業や思考作業)を実施すると、作業に集中できなくなり、変動周期が短くなると正答率が低下する傾向がみられた。

研究成果の概要(英文)：This study is an experimental research to investigate the influence of fluctuating low frequency sound on the human body by psychophysiological response measurement. In addition, we examined the influences of the low frequency sound above the sensation threshold level based on the efficiency of mental task. The fluctuating low frequency sound used by this research fluctuated the fluctuation cycle of the carrier wave and the sound pressure level periodically by the amplitude modulation. The fluctuating low frequency sound based on the whole-body exposure activates activities of the sympathetic nerve. In other words, this result suggest that the stress reaction is induced by the fluctuating low frequency sound. The subjects cannot concentrate on the mental task during the fluctuating low frequency sound exposure. Especially, the correct answer ratio of thinking task performance was found to decrease when the fluctuating low frequency sound above the threshold level were present.

研究分野：人間工学

キーワード：低周波音 精神作業 心理生理反応

1. 研究開始当初の背景

低周波音の発生源は、低速回転する大型のディーゼル発電機や空気圧縮機等から一定時間連続的に音を発生する固定音源と新幹線、バス、航空機等の交通機関から発生する移動音源に分けられる。低周波音は、音圧レベルが一定の定常性低周波音と継続時間が短い、あるいは音圧レベルが周期的に変動する変動性低周波音に大別される。

固定音源から連続的に発生する定常性低周波音の対応は、環境省から「低周波音問題対応の手引書」が公表されているが、変動性低周波音の計測や影響評価には適用できない。また、変動性低周波音の人体影響についての研究例は極めて少なく、定常性低周波音や変動性低周波音の測定物理量(刺激量)と心理・生理反応との刺激量-反応関係を解明するには至っておらず、特に人体に及ぼす生理的影響は不明な点が多いのが現状である。

感覚閾値を超えた音圧レベルの低周波音を人体に暴露すると、不快感や振動感は増加する傾向がみられるが、心理反応測定はアンケート方式による測定のため、ばらつきが大きい。また、従来の研究では、防音室等を利用して低周波音のみを暴露した場合の評価結果が主であるが、近年の実生活における騒音問題を考慮すると、仕事環境における作業に低周波音がどれほどの影響を及ぼすかを調べる必要があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、風力発電施設の風車やトンネル工事における発破作業現場等から発生する変動性低周波音を対象とし、変動性低周波音が精神作業(メンタルタスク)の効率に及ぼす影響を調査する。

本研究の目的は、変動性低周波音を人体に暴露した場合の心理反応と生理反応を調べ、変動性低周波音を構成する物理量との関係(刺激量-反応関係)を検証すること、そして、変動性低周波音が精神作業の効率に及ぼす影響を調査することである。

3. 研究の方法

(1) 実験で使用した変動性低周波音と実験環境

本研究で用いる変動性低周波音は、搬送波を振幅変調させて変動周期(信号波周期)と振幅変調レベル(最大音圧レベルと最小音圧レベルの差)を変えて作成した。変動性低周波音を発生させる防音室は、床面積 2.7m²、天井高さ 2.2m、壁面パネル厚 45mm で、防音室内に設置した直径 380mm のスピーカ 4 基から発生させる。防音室内の暗騒音レベルは平均で 30 dB (L_A)、防音室内には椅子が設置してあり、被験者には着座状態で変動性低周波音を全身暴露する。低周波音測定には低周波音用マイクロフォンとレベル計を使用した。また、変動性低周波音は等価音圧レベル、定常性低周波音は音圧レベルを用いて測定している。

(2) 被験者について

被験者からは事前にインフォームドコンセントを得ており、オーディオメータによる聴覚検査で健常であることを確認している。被験者数は実験条件により異なるが、概ね 15 名程度で、21~23 歳の大学生である。また、予備実験として、搬送波周波数 5~80 Hz の定常性低周波音について、1/3 オクターブバンド中心周波数毎の感覚閾値を測定した。

(3) 音刺激条件

音刺激の搬送波周波数は、10, 16, 20, 31.5, 40, 63, 80Hz の 7 種類で、これを基に変動周期と振幅変調レベルを変えて音刺激条件を設定した。実施年度により条件の組合せを変えているが、変動周期は 1.0~6.0 s、振幅変調レベルは 2~10 dB の範囲である。変動性低周波音の等価音圧レベルは、事前実験で測定した定常性低周波音の感覚閾値を基準として、標準偏差を考慮した 5~15 dB 加えた大きさに設定している。また、比較のため、等価音圧レベルを合わせた定常性低周波音でも実験を行っている。

(4) 作業課題とその評価方法

実験に用いた作業課題は、内田クレペリン方式の 1 桁の連続加算を行う単純作業、PC ディスプレイに表示された上段の 3 つの数字が下段の 8 つの数字の中で何種類含まれているかを回答する思考を要する検索作業(思考作業)の 2 種類である。変動性低周波音を全身暴露しながらこれらの作業課題を行い、作業効率は回答数と正答率で評価した。

(5) 心理反応測定

作業下の心理反応は、「気が散る」「集中できる」「どちらでもない」から 1 つ選択するアンケートで測定した。低周波音の印象は、不快感、振動感、圧迫感に対する単極 5 段階評定(感じない:1~非常に感じる:5)、または不快感に対して 7 件法のリッカート尺度を用いて、非常に不快(-3)から非常に快(+3)の数値を割り当てて測定した。

(6) 生理反応測定

生理反応は、唾液アミラーゼ活性(SAA)、心電図から LF/HF、脳波(開眼時)から β/α を算出した。SAA は唾液濃度を試験片で音暴露前後に 2 回測定し、実験前値(安静時)に対する暴露後値の変化 Δ SAA を算出した。LF/HF は心拍変動スペクトルの低周波数帯域 LF (0.04~0.15 Hz) と高周波数帯域 HF (0.15~0.4 Hz) のパワー比を求め、実験前値を基準として暴露中の変化 Δ LF/HF を算出した。これらから自律神経系の活動度を調べ、ストレス反応を検証した。脳波は基準電極導出法で測定し、FFT 解析で α 波(8~13 Hz) と β 波(13~35Hz) のパワー比 β/α を求め、実験前値を基準とした暴露中の変化 $\Delta \beta/\alpha$ を算出した。すなわち、 α 波ブロッキングをとらえ、音刺激による精神的負荷を検討した。

4. 研究成果

(1) 変動性低周波音の全身暴露による心理・

生理反応への影響

本研究では、音刺激を提示するときに変動性低周波音の搬送波周波数の組み合わせを、① 16, 31.5, 63 Hz と②20, 40, 80 Hz の2つに分けて実験を行った。

① 搬送波周波数 16, 31.5, 63 Hz の変動性低周波音の暴露実験

音刺激条件を表 1 に示す。等価音圧レベルの設定値は、事前に測定した定常性低周波音の感覚閾値に 15 dB 加えたものである。また、比較のため、搬送波周波数と音圧レベルを一致させた定常性低周波音の暴露実験も行っている。実験は 1 条件につき実験前安静 5 分間、音刺激暴露 5 分間、実験後安静 4 分間を設け、この間に生理・心理反応を測定した。

表 1 音刺激条件

搬送波周波数 (Hz)	等価音圧レベル (dB)	変動周期 (s)	振幅変調レベル (dB)
16	98	3	3
31.5	79		7
63	58	6	7

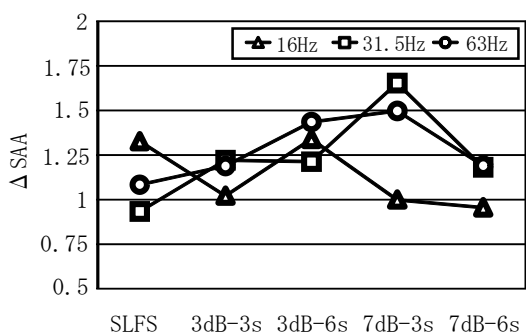


図 1 定常性低周波音 (SLFS) と変動性低周波音暴露による唾液アミラーゼ活性値の変化

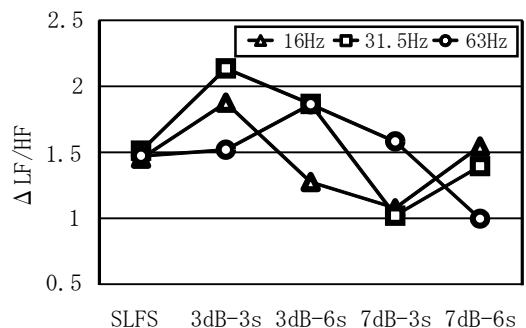


図 2 定常性低周波音 (SLFS) と変動性低周波音暴露による LF/HF の変化

図 1 に示す ΔSAA が 1 以上の場合は安静時よりも音刺激暴露後の方が交感神経は優位に働く、つまりストレスを感じていると考えることができる。ほぼ全ての条件で ΔSAA が 1

以上であることから、変動性低周波音を暴露するとストレス反応が生じる結果となった。また、振幅変調レベルが 3 dB のとき変動周期が長い方が ΔSAA は増加する傾向がみられた。

図 2 に $\Delta LF/HF$ の結果を示す。 $\Delta LF/HF$ が 1 以上の場合は安静時よりも音刺激暴露後の方が交感神経は優位に働くといえる。全ての音刺激条件で $\Delta LF/HF$ は 1 以上であることから、変動性低周波音を暴露するとストレス反応が生じると考えられる。同じ振幅変調レベルと比較すると、変動周期が 3 s の方が 6 s よりも強いストレス反応を示す傾向がみられた。

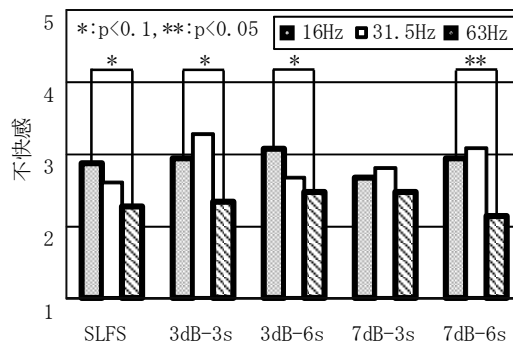


図 3 定常性低周波音 (SLFS) と変動性低周波音暴露による不快の違い

図 3 に示す、不快の心理アンケートは「感じない:1」から「非常に感じる:5」の得点を割り当てた。全ての音刺激条件において不快と感じており、定常性低周波音は搬送波周波数が小さくなると不快と感じる傾向がみられた。変動性低周波音は搬送波周波数が 63, 16, 31.5 Hz の順で不快感を強く感じる傾向がみられた。また、不快の得点について有意差検定を行った結果、変動周期と振幅変調レベルが同一条件の場合は搬送周波数 16 Hz と 63 Hz の間で有意差がみられた。

② 搬送波周波数 20, 40, 80 Hz の変動性低周波音の暴露実験

音刺激条件を表 2 に示す。等価音圧レベルの設定値は、事前に測定した定常性低周波音の感覚閾値に 8 dB 加えたものである。①と同様、搬送波周波数と音圧レベルを一致させた定常性低周波音の暴露実験も行った。実験は 1 条件につき実験前安静 5 分間、音刺激暴露 3 分間、実験後安静 1 分間を設け、この間に生理・心理反応を測定した。

表 2 音刺激条件

搬送波周波数 (Hz)	等価音圧レベル (dB)	変動周期 (s)	振幅変調レベル (dB)
20	84	1	5
40	65	1.5	
80	47	3	10

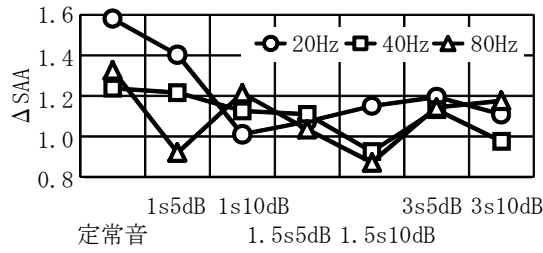


図4 定常性低周波音と変動性低周波音暴露による唾液アミラーゼ活性値の変化

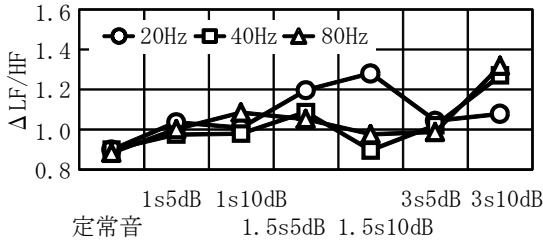


図5 定常性低周波音と変動性低周波音暴露によるLF/HFの変化

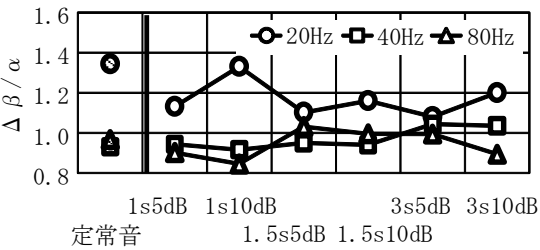


図6 定常性低周波音と変動性低周波音暴露によるβ/αの変化

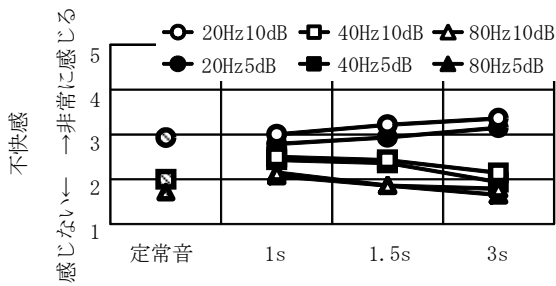


図7 不快感と変動周期の関係

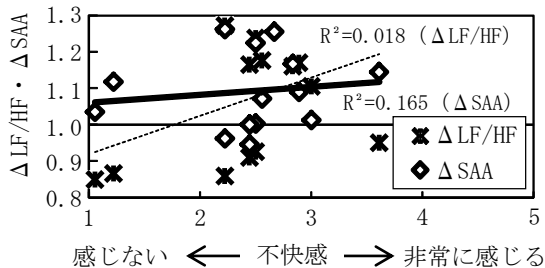


図8 ΔLF/HF, ΔSAA と不快感の関係

図4に示すように、ほぼ全ての音条件でΔSAAが1以上であることから、低周波音暴露によりストレス反応が生じたといえる。同一

搬送波周波数で比較すると、定常性低周波音のΔSAAは全ての変動性低周波音の条件より大きくなった。図5に示すΔLF/HFの結果から、多くの音条件で1以上であることから、変動性低周波音暴露によりストレス反応が生じると考えられる。また、変動性低周波音は定常性低周波音よりも強いストレス反応を示す傾向がみられた。また、図6に示すΔβ/αの結果も多くの音条件で1以上となっていることから、音刺激によりα波ブロッキング現象が生じ、ストレス反応が生じたと考えられる。搬送波周波数が20Hzの条件では変動性低周波音よりも定常性低周波音の方がΔβ/αが大きくなるが、変動周期1.5s以上の搬送波周波数が40, 80Hzの条件では逆の傾向がみられた。

図7に示す不快感は、振幅変調レベルによる違いはなく、搬送波周波数が小さくなると不快に感じる結果となった。また、搬送波周波数20Hzでは変動周期が長くなると不快感が増加し、40Hzと80Hzは減少する傾向を示した。また、図8に変動性低周波音暴露による不快感とΔLF/HF, ΔSAAとの関係から、ΔLF/HF, ΔSAA共に相関は弱いですが、不快に感じる(評定値2~3の範囲)と交感神経が優位に働く傾向がみられる。よって、本研究の音条件範囲では不快感とLF/HF, SAAとの関連性が示唆された。

(2) 作業効率に及ぼす変動性低周波音の影響調査

変動性低周波音を暴露しながら1桁の連続加算を行う単純作業と数字を検索する思考作業の2種類の精神作業を被験者に課した。

音刺激条件は、表3に示す通りである。実験手順は、1条件につき実験前安静3分間、音刺激暴露3分間、実験後安静3分間を設け、この間に生理・心理反応を測定した。生理反応は心電図からLF/HFを求め、安静時を基準として暴露中の変化ΔLF/HFを算出して自律神経系の活動度を調べ、ストレス反応を検証する。心理反応は、「気が散る」「集中できる」「どちらでもない」から1つ選択するアンケートと、不快感に対して非常に不快(-3)から非常に快(+3)の数値を割り当てた7段階評定法で測定した。

表3 音刺激条件

搬送波周波数 (Hz)	等価音圧レベル (dB)	変動周期 (s)	振幅変調レベル (dB)
10	107	1.5	2
20	85		
40	66	3	4
80	50		

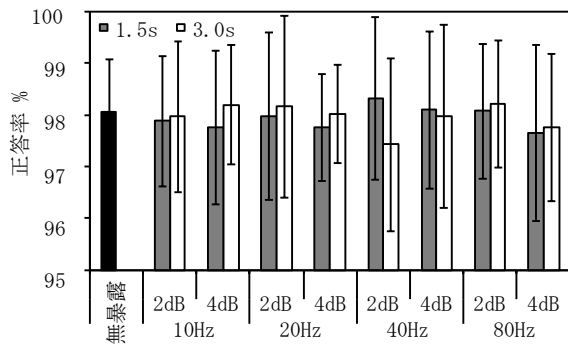


図9 単純作業（数値加算作業）の正答率

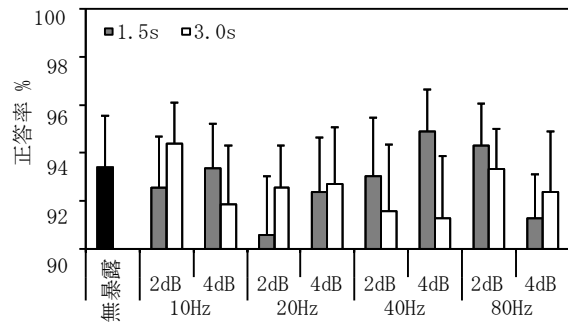


図10 思考作業（数値検索作業）の正答率

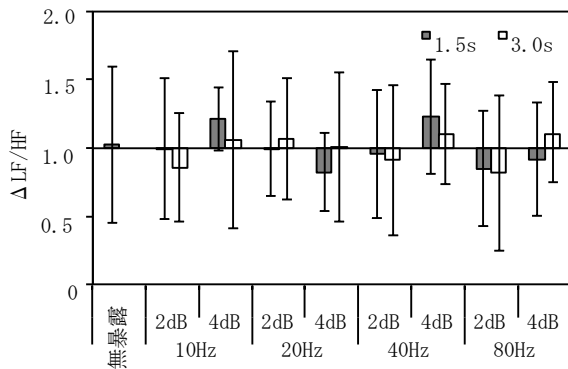


図11 思考作業における LF/HF の変化

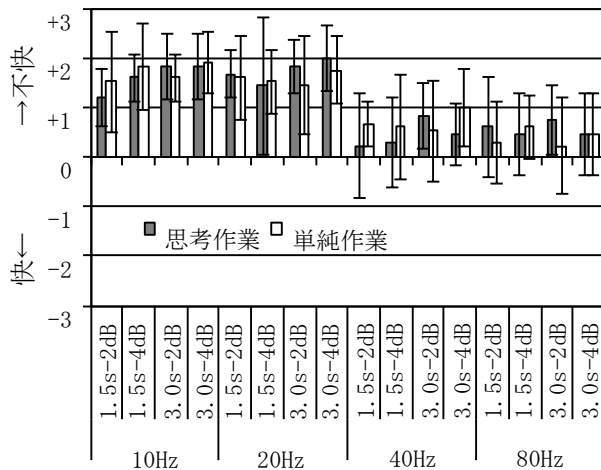


図12 思考作業と単純作業の実施時における変動性低周波音暴露時の快・不快感の比較

図9と図10に、変動性低周波音を暴露しながら単純作業（数値加算作業）、または思考作業（数値検索作業）を実施したときの正答率を示す。音を暴露していない状況での結果（無暴露）と比較すると、図9の単純作業は音を暴露しても正答率は変わらないが、図10の思考作業は多くの音刺激条件、特に変動周期が3.0sの条件において正答率が減少する傾向がみられた。同様の方法で音条件による回答数の違いを調べた結果、単純作業、思考作業共に、無暴露条件に対してほとんど変わらなかった。よって、変動性低周波音が暴露される環境下での作業効率は、単純作業にはあまり影響を及ぼさないが、思考作業では作業量は減らないが正答率が下がる、つまり作業精度が減少する傾向がみられることが分かった。

図11に示す思考作業実施時におけるLF/HFの結果をみると、音条件の違いによる差異はなく、搬送波周波数や振幅変調レベル等との関連性はみられなかった。変化率の大きさも、図5に示す作業を実施していない条件下の結果と比較しても違いがみられない。また、これらの傾向は単純作業でも同様であった。この理由として、1条件あたりの実験時間が短い点が挙げられるが、他の音刺激条件との関連も含め、今後詳細な検討が必要である。

図12に、単純作業と思考作業実施時における音条件毎の快・不快感を示す。この結果より、10、20Hzの不快感、40、80Hzの不快感よりも大きい傾向を示した。よって、変動性低周波音の搬送波周波数が可聴周波数以下か以上かにより、不快感の大きさは異なる傾向を示すと考えられる。しかし、作業内容や同一搬送波周波数における変動周期や振幅変調レベルの違いはみられなかった。また、作業中の変動性低周波音に対して、「気が散る」か「集中できる」かについて調べた結果、前述した不快感の傾向と同様であった。

以上の結果をまとめると、精神作業を実施中に変動性低周波音を暴露すると、単純作業に比べて思考作業は正答率が下がる傾向がみられた。この傾向は変動周期が3.0sにおいて顕著に現れた。心理反応測定の結果から、搬送波周波数が可聴周波数以下（20Hz以下）の場合、不快感が増し、気が散ると感じることが分かった。今後の検討課題として、生理反応との関連性、及び他の音刺激条件や暴露時間の違いについて検討を進める予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 10 件）

- ① 松田礼, 町田信夫, 低周波数の可聴性振幅変調音による人体影響に関する研究, 日本騒音制御工学会 2015年春季研究発表会, 2015年4月21日, 国立オリンピック記念青少年総合センター（東京都渋谷区）
- ② 田代泰弘, 松田礼, 町田信夫, 作業能率に

及ぼす変動性低周波音の影響と人体反応,
第 58 回日本大学理工学部学術講演会,
2014 年 12 月 6 日, 日本大学理工学部 (東
京都千代田区)

- ③ Hiroshi MATSUDA, Nobuo MACHIDA,
Combined effects of low frequency
vertical vibration and noise on whole-
body vibration sensation, 43rd
International Congress on Noise
Control Engineering (Inter-Noise
2014), 2014 年 11 月 16 日~11 月 19 日,
Melbourne Convention Centre (メルボル
ン (オーストラリア))
- ④ 松田礼, 田代泰弘, 町田信夫, 変動性低周
波音の人体反応に関する研究, 日本音響
学会 2014 年秋季研究発表会, 2014 年 9 月
3 日~9 月 5 日, 北海学園大学豊平キャン
パス (北海道札幌市)
- ⑤ 田代泰弘, 大井星十, 松田礼, 町田信夫,
変動性低周波音の測定と人体影響につい
て, 日本人間工学会第 55 回大会, 2014 年
6 月 5 日~6 月 6 日, 神戸国際会議場 (兵
庫県神戸市)
- ⑥ 田代泰弘, 大井星十, 松田礼, 町田信夫,
低周波音と可聴音の複合音による心理影
響, 第 57 回日本大学理工学部学術講演会,
2013 年 12 月 7 日, 日本大学理工学部 (東
京都千代田区)
- ⑦ 大井星十, 田代泰弘, 松田礼, 町田信夫,
振幅変調を用いた変動性低周波音の人体
影響に関する研究, 第 57 回日本大学理工
学部学術講演会, 2013 年 12 月 7 日, 日本
大学理工学部 (東京都千代田区)
- ⑧ 田代泰弘, 大井星十, 松田礼, 町田信夫,
低周波音と可聴音の複合音によるアノイ
アンスへの影響, 日本音響学会 2013 年秋
季研究発表会, 2013 年 9 月 26 日, 豊橋技
術科学大学 (愛知県豊橋市)
- ⑨ 大井星十, 田代泰弘, 松田礼, 町田信夫,
変動性低周波音による人体影響に関する
研究, 日本騒音制御工学会 2013 年秋季研
究発表会, 2013 年 9 月 6 日, 熊本大学 (熊
本県熊本市)
- ⑩ 大井星十, 田代泰弘, 松田礼, 町田信夫,
作業能率に及ぼす低周波音の影響, 日本
人間工学会第 54 回大会, 2013 年 6 月 2
日, 日本大学生産工学部 (千葉県習志野市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田 礼 (MATSUDA, Hiroshi)
日本大学・理工学部・准教授
研究者番号 : 30469580

(2) 研究分担者

町田 信夫 (MACHIDA, Nobuo)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号 : 30060164