

研究事例紹介

音・振動の評価技術 (印象評価からICTの活用まで)

知能システム工学講座

データサイエンス（ナノセンシング）研究室

野呂 雄一



音響計測・デジタル信号処理

騒音(音声・楽音)評価、音響・振動計測、音質評価

Special Edition

特集
おもしろ研究・先生 XI

科学が挑戦！
至高の音を求めて



三重大学大学院工学研究科・准教授
野呂 雄一 (Nozaki, Yoichi)
[URL] <http://www.phen.mie-u.ac.jp>

音質評価の新しい基準

皆さんは、身の回りの家電製品やOA機器の発する動作音が昔より静かになってきていると感じませんか？これまで価格や性能が重視されてきたこれらの製品も最近では、付加機能の充実やデザイン性の向上に加え、動作音を小さくすること(静音化対策)が求められるようになってきています。しかし、静音化対策もある程度進んでくると費用対効果の点から限界が訪れます。そうなると作り手が次に目を向けるのは音の質的な改善です。同じ音レベルでも、心なしか気にならない音、不快感の少ない音があつちますよね。いわゆる「音のデザイン」がうまくいっている状態です。私の研究室では、そういった機械動作音の「質」を評価する手法について研究しています。

快適に過ごすために、音にも工夫がこらされているんだね

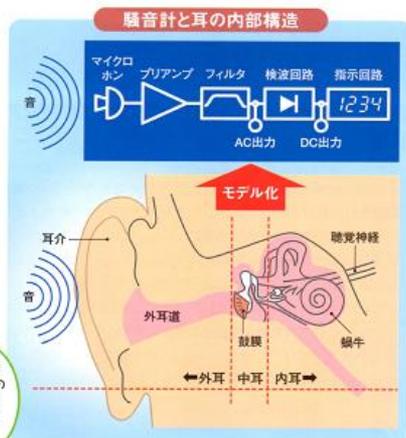


特集 ＊おもしろ研究・先生 XI＊ Special Edition

人間の耳を模した騒音計

そもそも、音の大きさはどのように測られるのでしょうか？音の正体は空気中を伝わる波動です。その波動の変化を物理量として測れば良いわけですが、周波数によって異なる耳の感度(聞こえ方)を考慮して音の大きさを評価しなければなりません。音を感じ取る観点のうち、大きさの感覚を「ラウドネス」といいます。このラウドネスに近い物理量を得るために一般の騒音計には人間の聴覚系(外耳、中耳、内耳、聴覚神経)の働きを単純にモデル化した回路が組み込まれています。また、さらに精度を高めたモデル化も考えられており、これらはJIS[®]やISO[®]といった国内外の規格で規定されています。

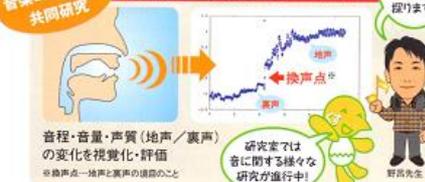
※JIS-日本工業規格、ISO-国際標準化機構



皮膚科との共同研究 音を利用した「かゆみ」レベルの測定



音楽コースとの共同研究 歌唱音声の評価システムの開発



ラウドネス以外の評価量

最初に述べたように、音の大きさが音の「質」を左右するわけではありません。甲高さや鈍さといった音量以外の様々な印象についても考慮する必要があります。しかし、静音化の次の課題である快音化を測定する方法には現在のところ決まったものがなく、最終的には、いわゆる「聞き比べ(試聴実験)」に頼らざるを得ない状況です。これには手間もコストもかかるため、分析結果をすぐに設計変更に活かしたい開発現場では使いたくないものとなっています。そこで、当研究室では数々の実験によってしか得られない評価量(心理的尺度)を人間の心理量を模したラウドネス、シャープネス、ラフネス[®]等の測定値から予測できる手法について研究を進めています。評価量が容易に算出できるようになれば、製品開発の途中であっても対策手法を効率よく選択選択できるようになります。皆さんが日常生活の中で、科学的に立証された「心地よい音」を実感できる日もそう遠くはないはずです。

※シャープネス-音の鋭さ、ラフネス-音の粗さ

- AIを用いたモーター製造ラインにおける不良品判別
(共同研究事例)
- Webサーバを利用した音質評価試験システムの開発
(受託研究事例)
- Androidアプリによる色相騒音計の実現とその応用
(展開検討中)

目的

聴感試験による全数検査の省力化

→ AIによる自動判別の導入

課題

AIの学習に必要な大量のデータを工程の変更を最小限にして如何に効率よく取得し、導入に結び付けるか

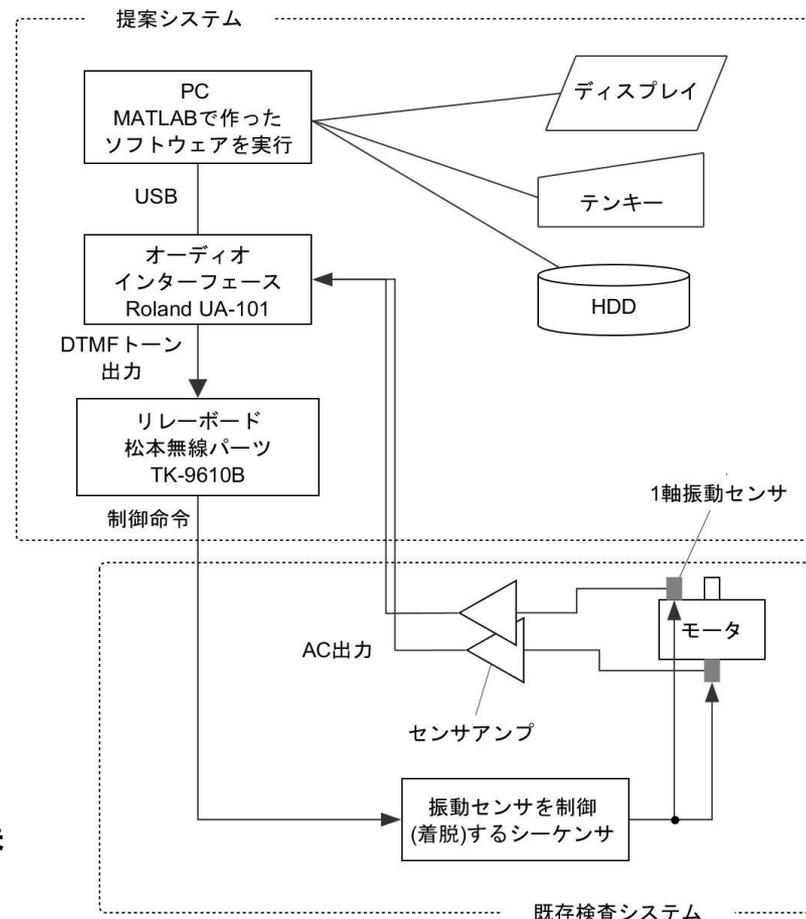
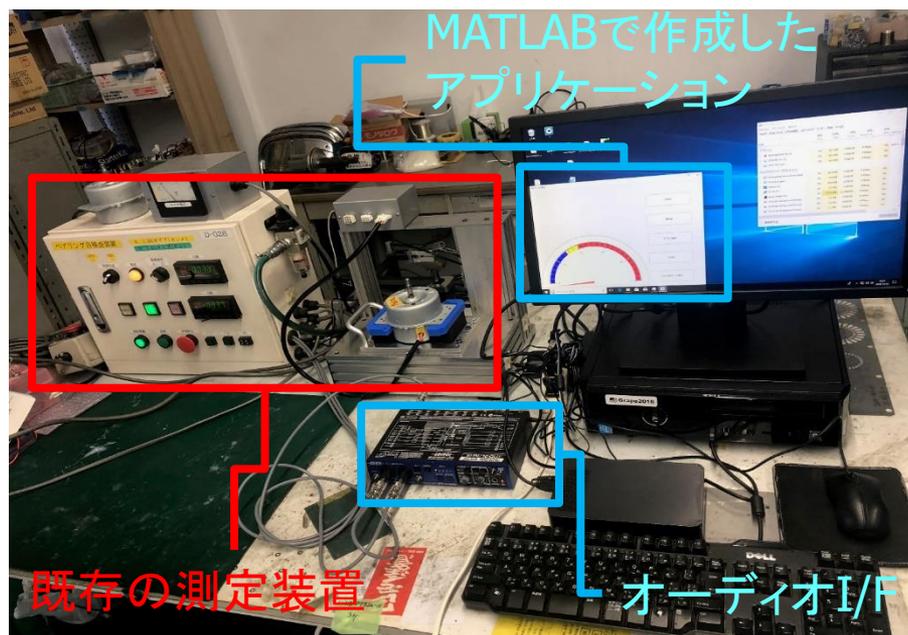
方法

- 既存の振動レベル測定装置の信号をPCに取り込んで、検査員の判定結果も同時に取得
- 取得した振動波形をスペクトル解析したものをAI(ニューラルネットワーク)の入力とし、判定結果を学習
- 検査員と協調作業ができるように、判定結果の表示・追加学習の機能を実装したシステムを提案

結果

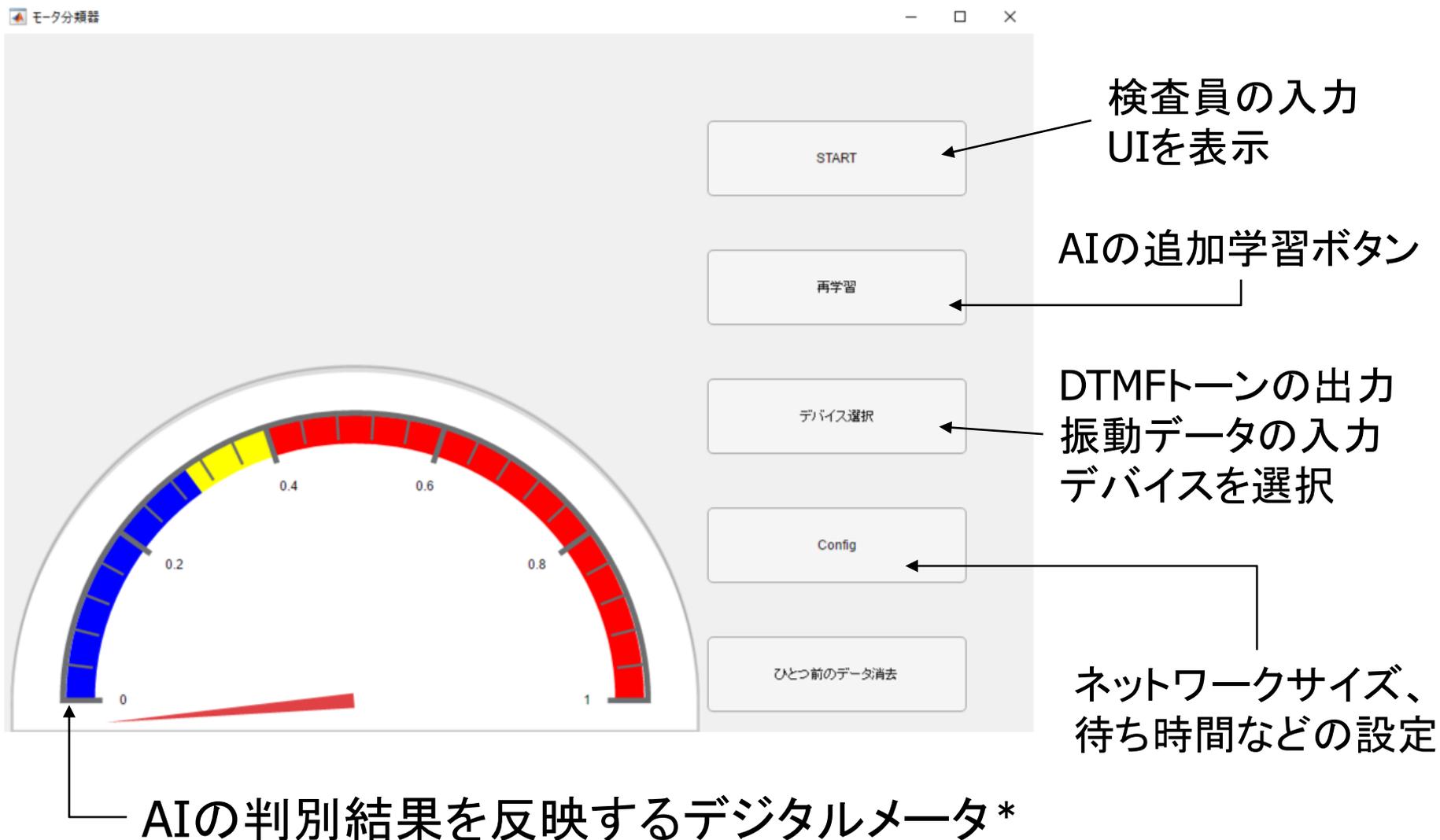
- 1か月の試験運用で3万件超のデータを取得し、95%を超える正解率を実現
- 現在、改良した測定治具でデータ取得中

提案した検査システム



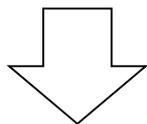
主な機能

- 振動データを音ファイルとして収集
- 検査員の判別結果の入力UI
- AIによる判別結果をデジタルメータでリアルタイムに表示
- 収集されたデータを使って追加学習が可能



*0が良品、1が不良品

作業量を変えないまま
データを集める



押しボタンの代わりにEnterを
押すだけ*でシーケンサ制御、
データ収集を行える

* 不良品の時だけそのモータの不良原因を選択してからEnter

TENKEY

Numのライトが点灯していることを確認
削除ボタンでひとつ前のデータを消せます

不良原因ボタン

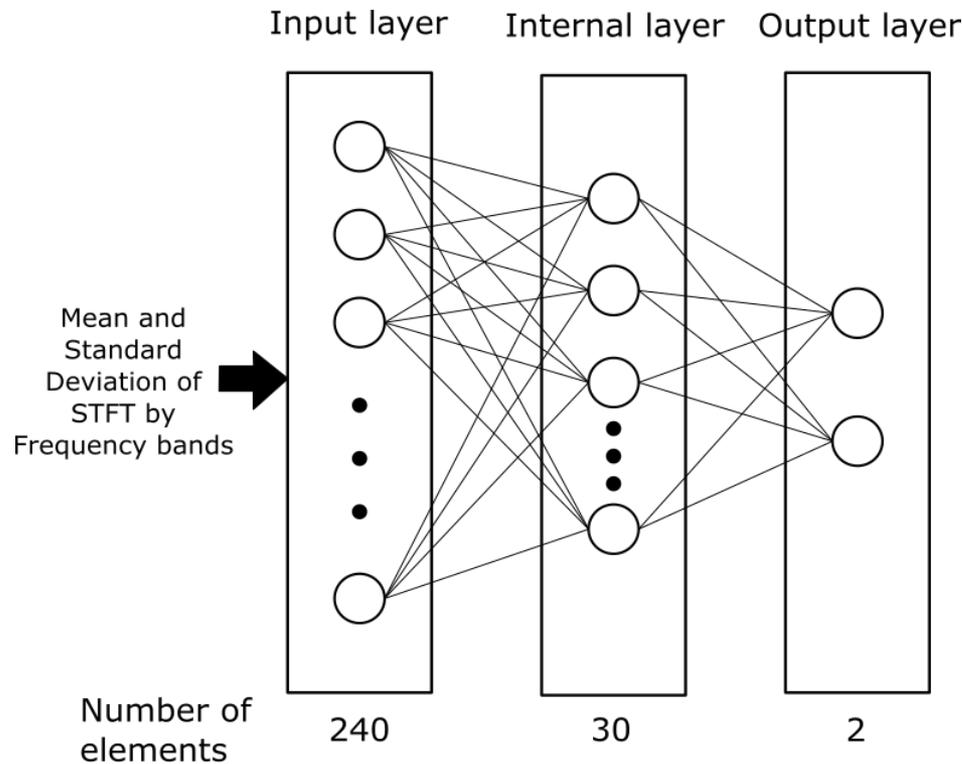
Tab	/	*	削除
D	B	スレ	--
4	5	6	+
1	2	3	スタート
戻る	00	. Del	

正常品：スタート(Enter)を押すだけ
不良品：D,B,スレの内一つ以上選択した状態でスタート(Enter)を押す



32471件の振動データ(32275件:良品、196件:不良品)

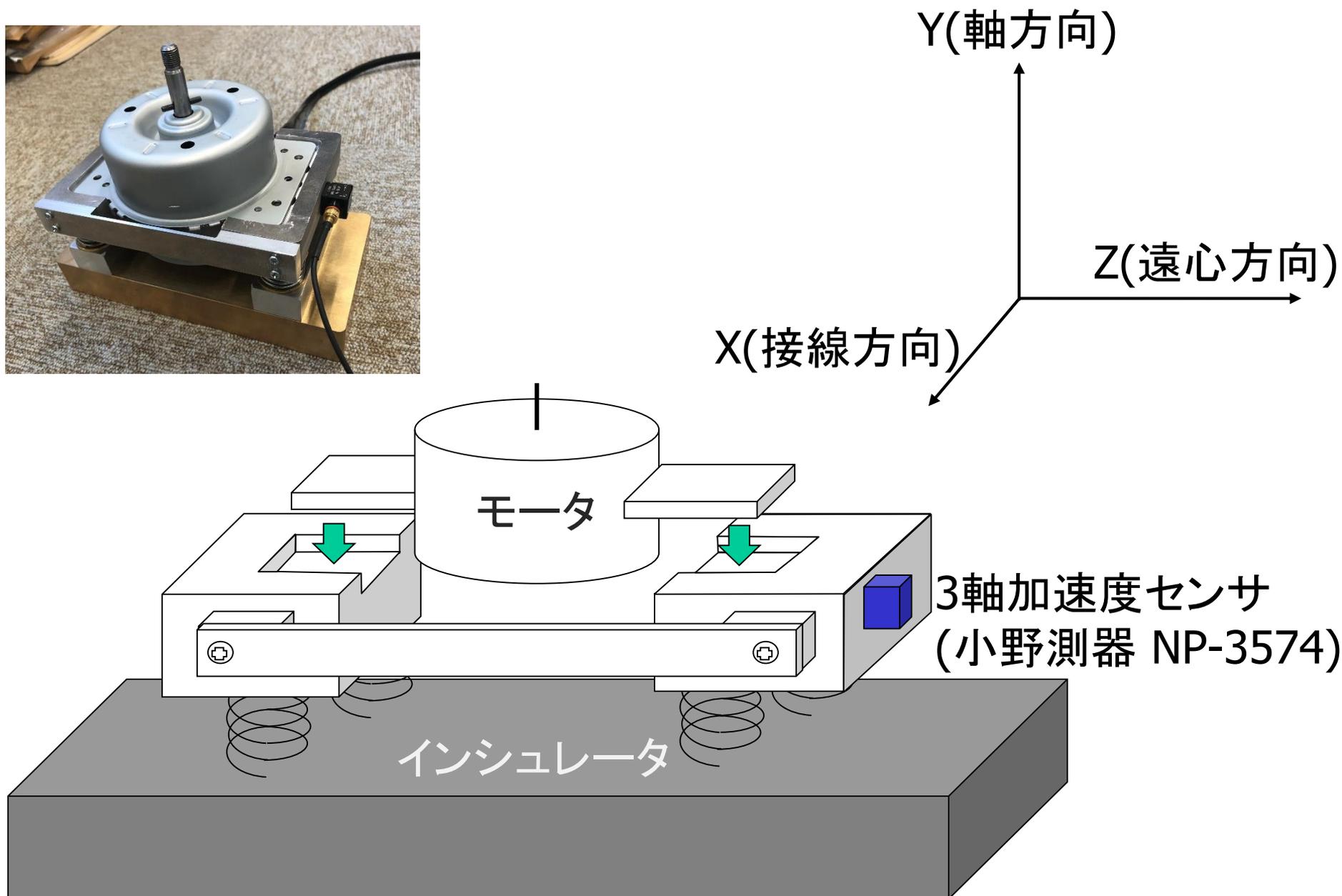
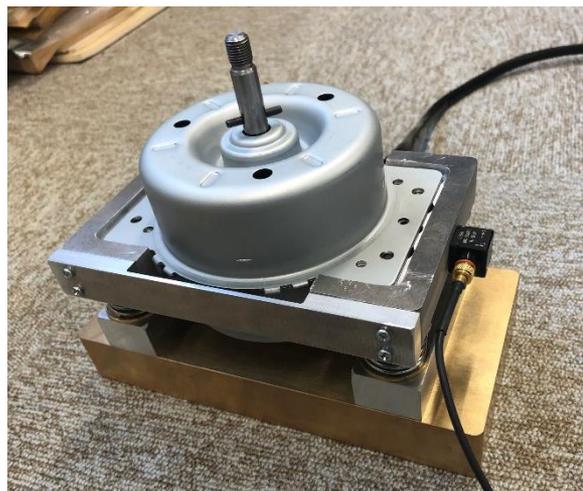
49分割検証*により検査員の判断に対するAIの精度を確認
ネットワークモデルは**240-30-2**



* 各データ群に対し不良品が2個ずつ配置されるようにするため

		AIの予測値	
		良品	不良品
検査員の 判定値	良品	31543 (97.7%)	732 (2.3%)
	不良品	14 (7.1%)	182 (92.9%)

改良型の測定装置



- 新しい測定装置を使い、
実際のモータ生産ラインで
データ収集
(現在進行中)



データ収集の様子

目的

音質評価試験(試聴実験)の効率化

→ 専用のWebサーバによる試験の準備から実施までの一元管理

課題

- 試験工程の自動化
- 試験音・回答選択肢の提示のランダム化
- 遠隔地での実施

など

方法

汎用のWebサーバに試験の準備から実施までを統括するプログラムを実装

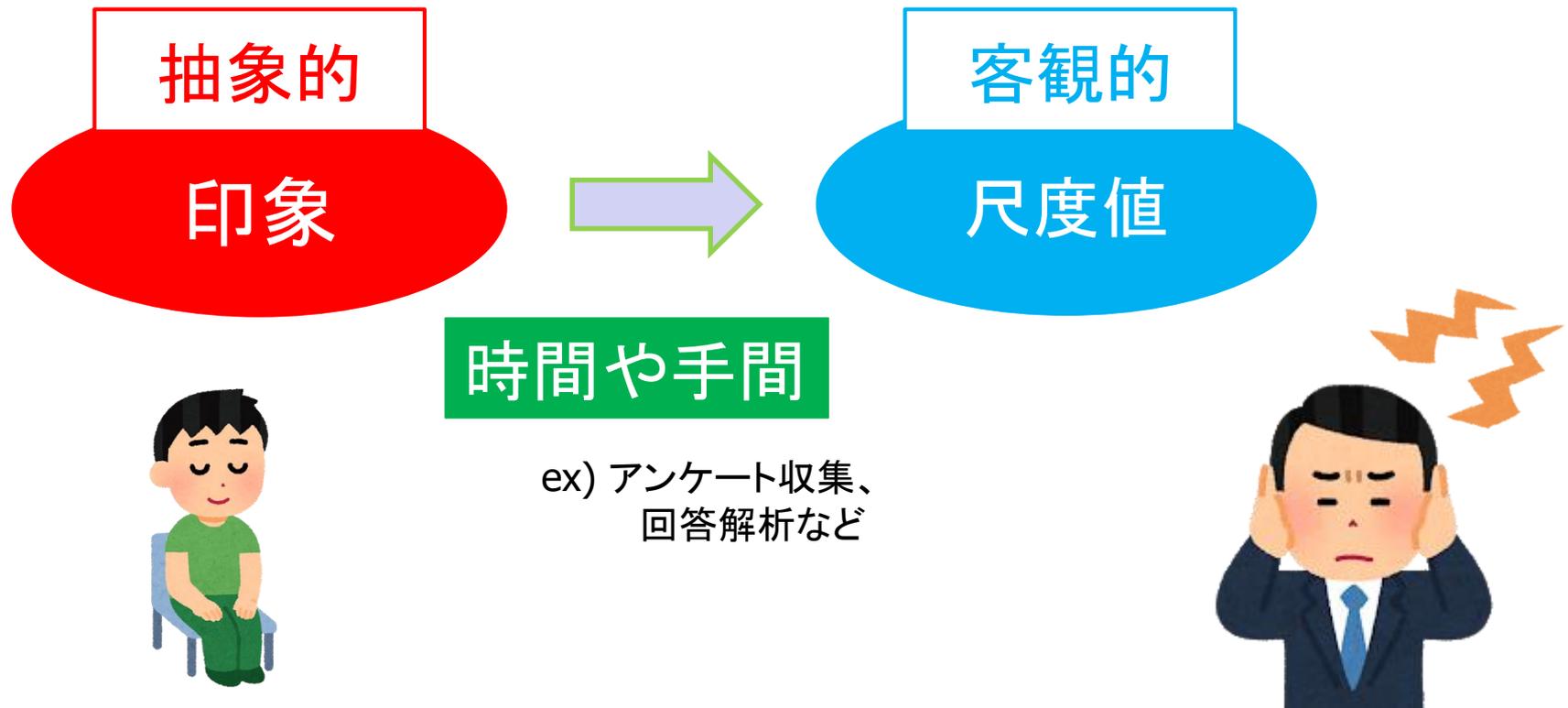
結果

- ブラウザからサーバに接続するだけで試験音のアップロードや試験工程の設定が可能 (一対比較法とSD法)
- 被験者にIDを発行し、タブレット等で自らサーバにアクセスしてもらうことで試験の実施も自動化
- 回答データはサーバで一元管理
- 県内某高校のSSHで実際に試用し、高校生でも試験の準備から実施が可能なことを確認
- 和音の質的な違いを聞き分けていることを確認

印象評価

印象という**抽象的**なものを**客観的**に評価

ex) 一対比較、SD法、ME法など



特徴

- ブラウザ上で提供されるネットワークサービスであるため、誰でもどこでもアクセス可能
- 被験者(クライアント)側の端末に専用のアプリケーション不要
- アカウントを設定することで被験者の管理、データ収集が容易
- 実験手順に従ってサーバ上に保管された実験用の動画ファイル、音声ファイルの再生可能
- GUIによる直感的な設問の設定、回答可能
- 設問順序、形容詞対の並びをランダムに提示可能
- ネットワークを介したシステムのため遠隔地から設問の修正、進行中の実験データの確認可能



手法: SD法(Semantic Differential Method)

試験音: 和音9種...純正律

長三和音3種(メジャーコード)

短三和音3種(マイナーコード)

不協和音3種

形容詞対: 9対... 落ち着いた-激しい、明るい-暗い、不快な-心地よい、
悲しい-楽しい、重い-軽い、弱い-強い、固い-柔らかい、
安全な-危険な、はっきりとした-ぼんやりとした

選択肢数: 7段階(-3,-2,-1,0,+1,+2,+3)

対象者: 高校生

実施方法: Webアンケートシステムの利用

個人所有のスマートフォン等による自由試聴と回答

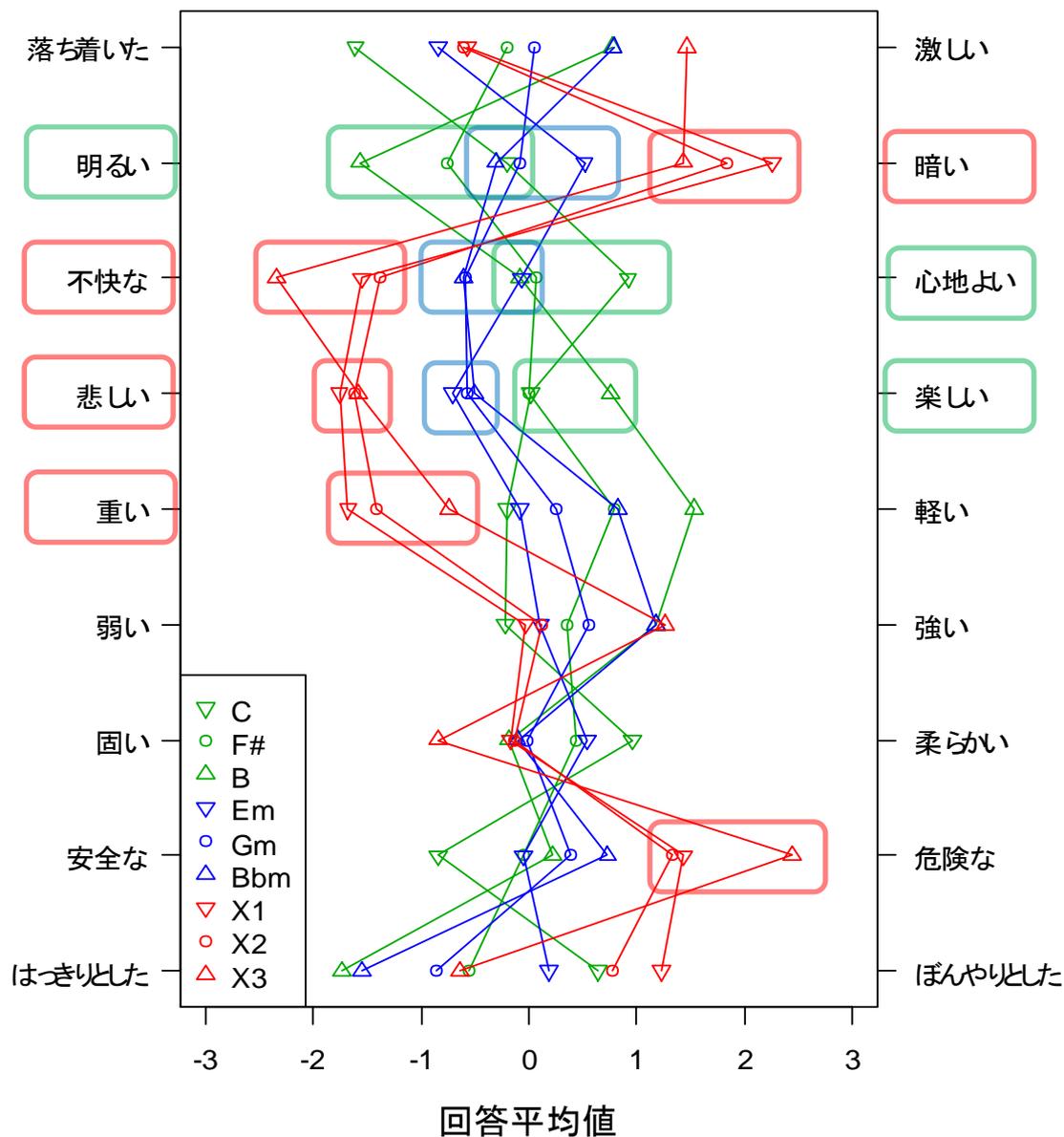
実施期間: 8/1~約2か月間

実施予定: 1カ月、350名対象

実施期間: 2カ月、有効回答74名(回答率21%)



分析結果(単純集計1)

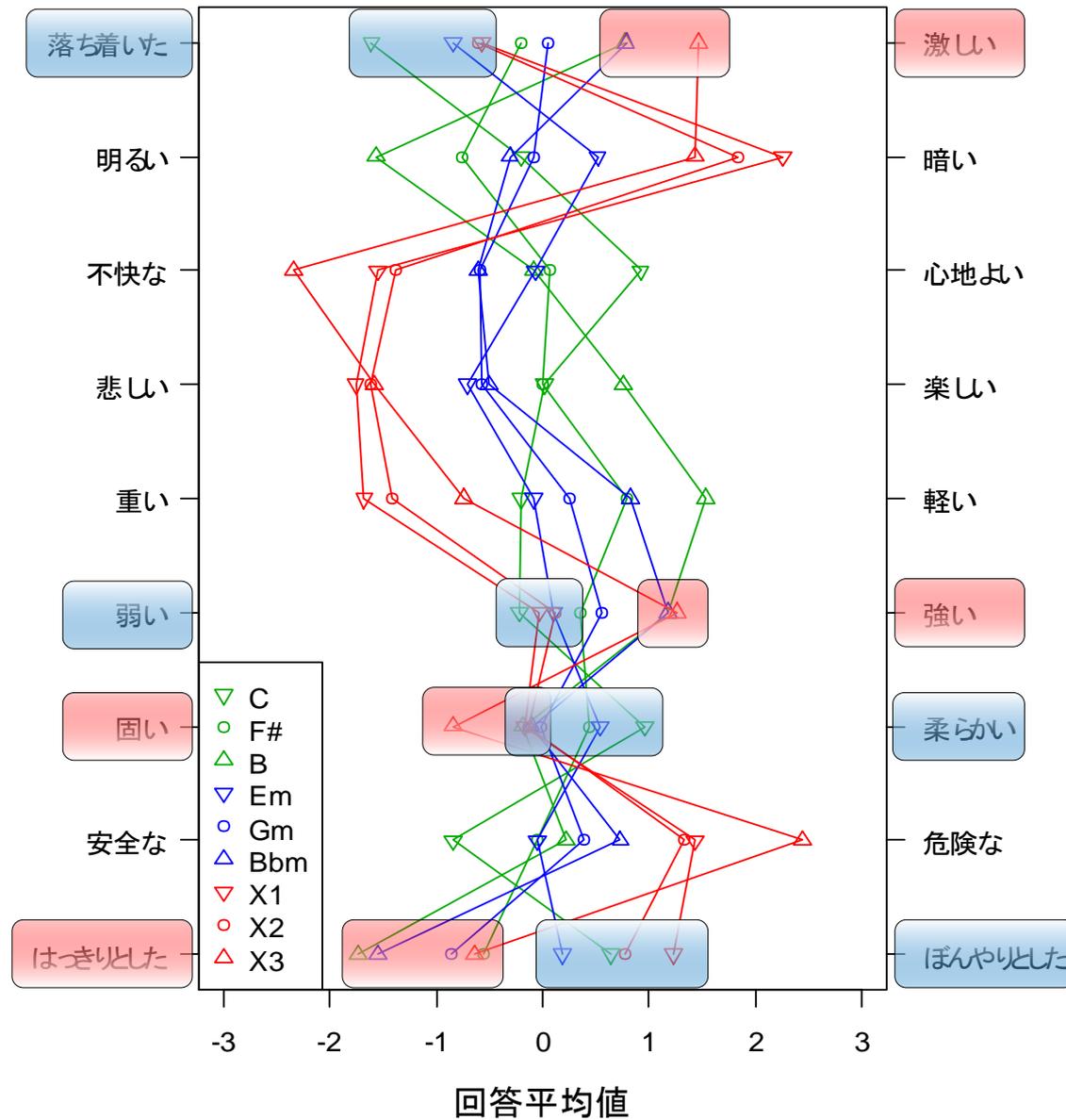


長三・短三・不協
 の違いが表れやすい
 形容詞(対)が存在
 することがわかる

長三
 明るい
 心地よい
 楽しい

不協
 暗い
 不快な
 悲しい
 重い
 危険な

分析結果(単純集計2)



(基音の)音高の
違いが表れやすい
形容詞(対)が存在
することもわかる

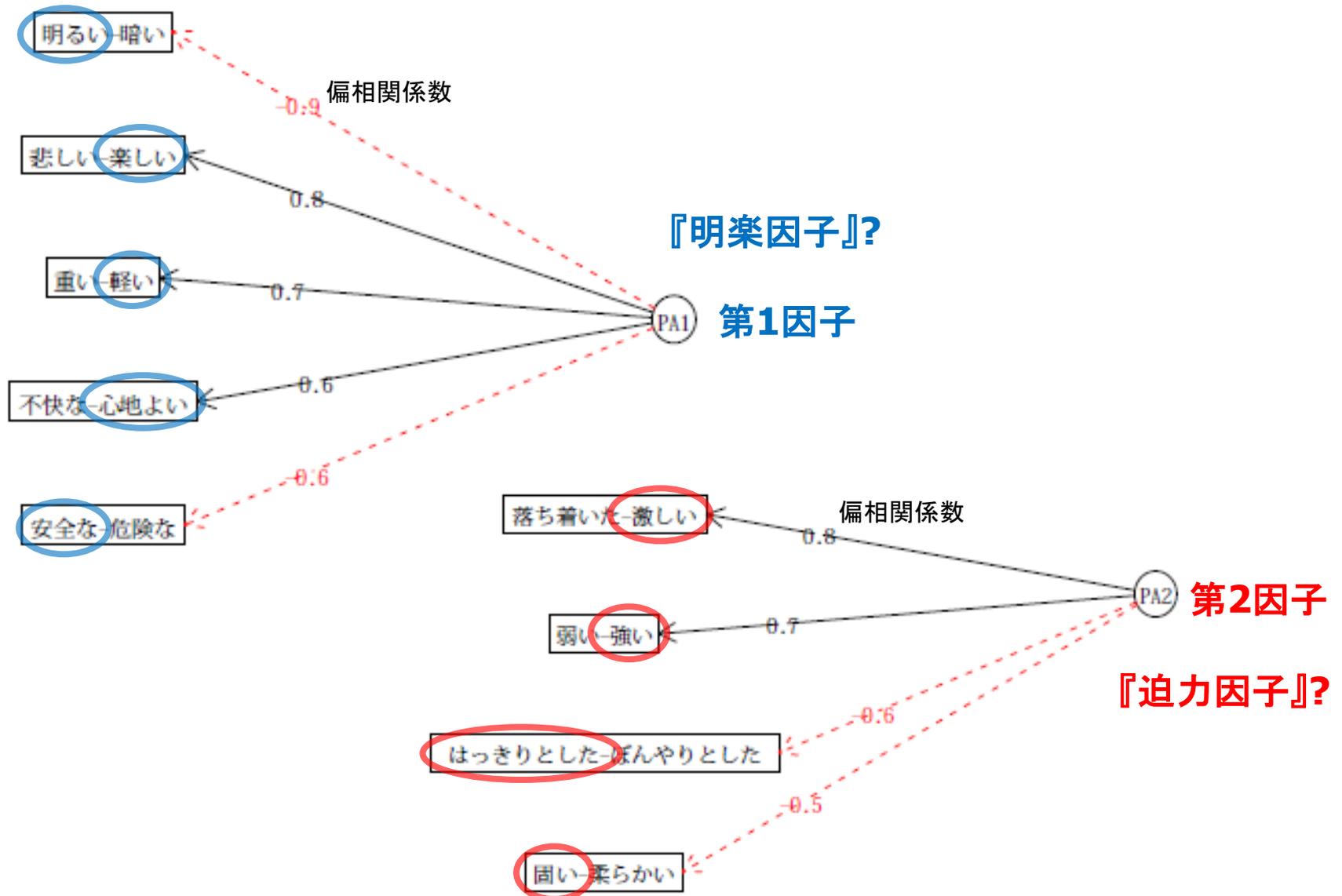
高い

激しい
強い
固い
はっきりとした

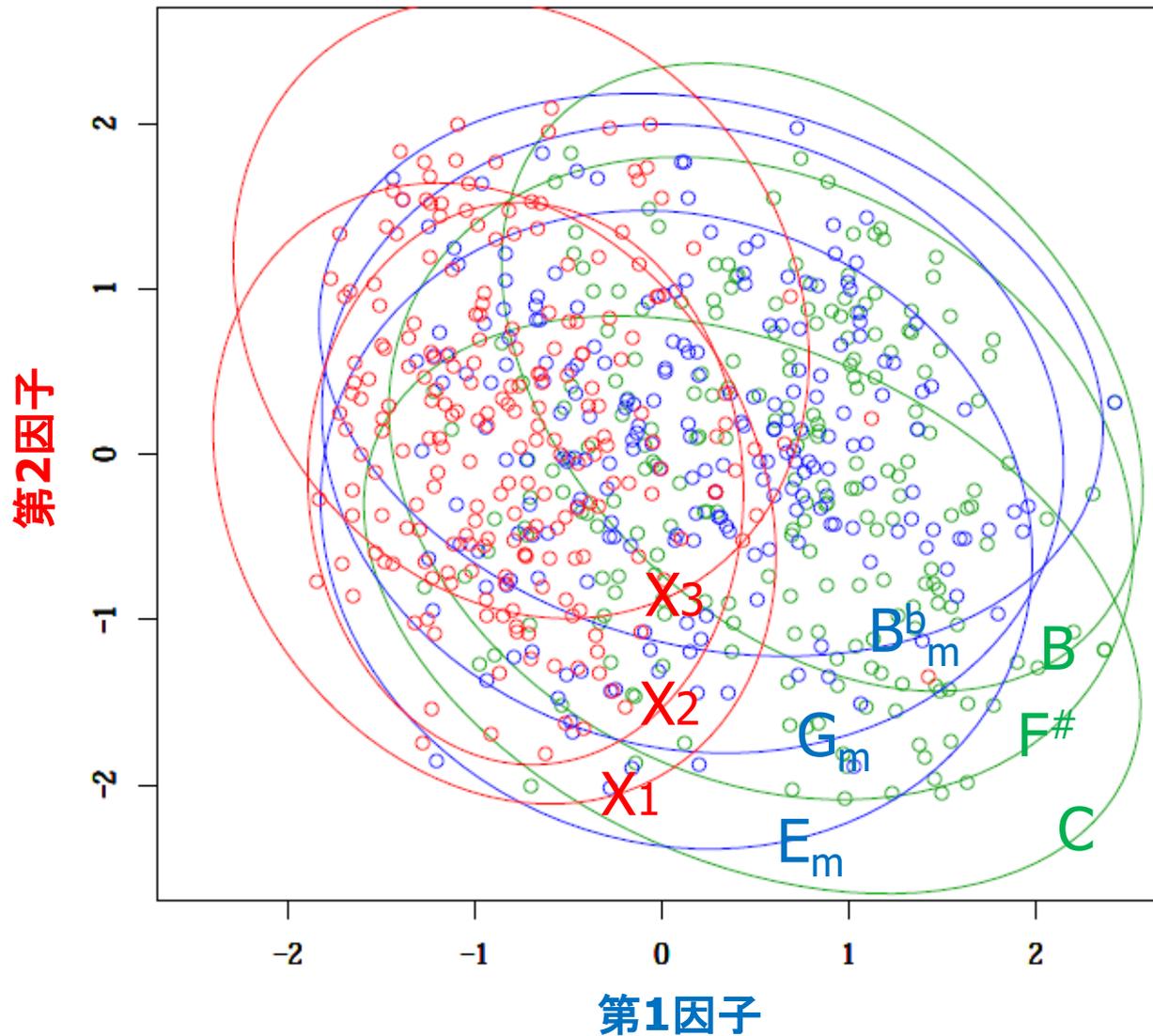
落ち着いた
弱い
柔らかい
ぼんやりとした

低い

因子分析(主成分分析)



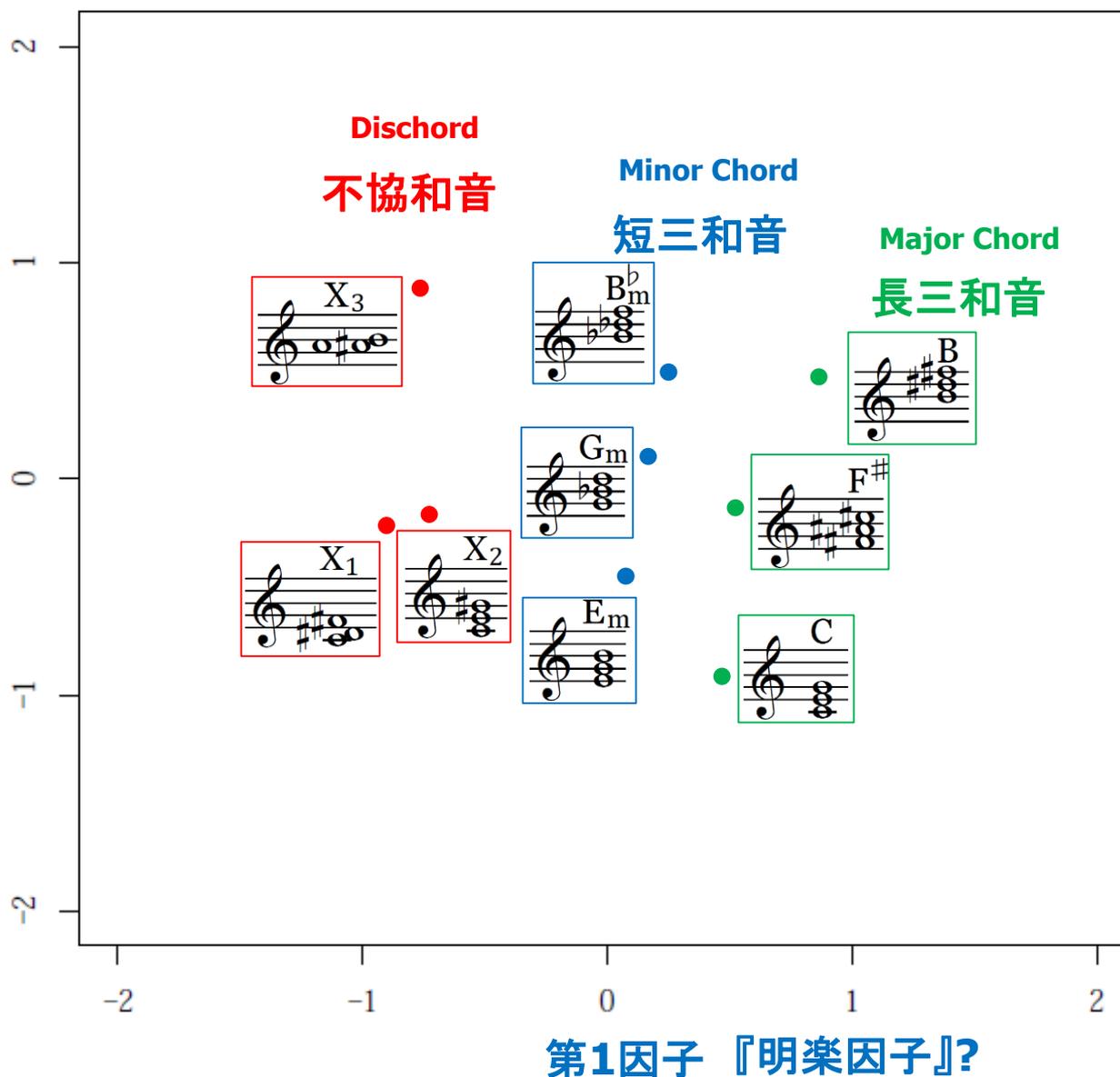
抽出された因子軸上の回答分布



和音により分布域
に差が認められるが
個人レベルでは
重なりも大きい

因子得点(主成分値)の平均値の配置

第2因子『迫力因子』?



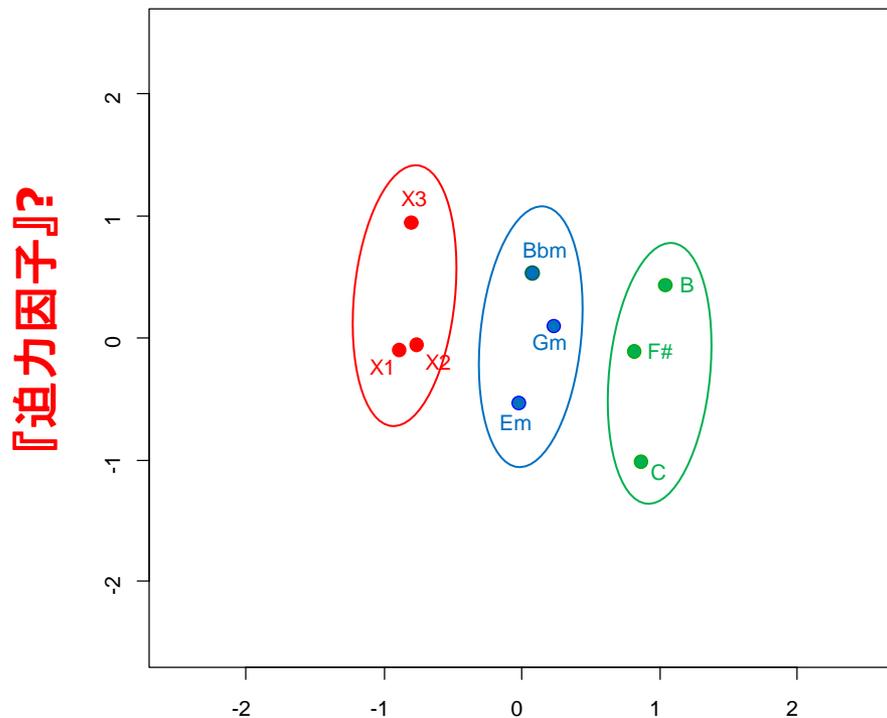
平均値では
和音の違いが
良く読み取れる

第1因子には
長三・短三・不協
の違いが

第2因子には
(基音の)音高
の違いが

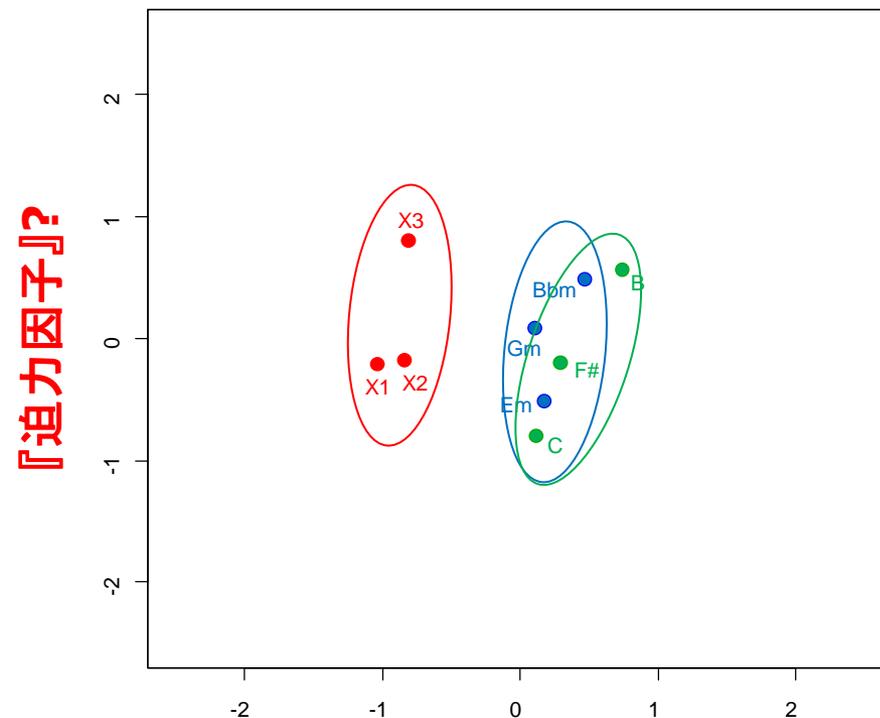
反映されている

音楽経験有グループ



『明楽因子』?

音楽経験無グループ



『明楽因子』?

「音楽経験あり」と回答したグループの方が
長三和音と短三和音の聞き分けができています?
(印象の違いが大きい)

目的

騒音レベルの変化を身近に感じさせ静音化に対する意識を高める機器の開発

課題

dBという単位で表される音の大きさに関する評価量(騒音レベル)は一般の認知度が低い

方法

- 色を見た時の感覚に転換し、騒音レベルを色相表示させる(先行研究)
- Androidアプリとして実現

結果

- タブレットを色相騒音計として活用でき、通信機能を使って測定結果をサーバに集約することで時間的・面的評価も可能
- 病院内のNICUでの利用を検討中
- 1カ月の試験導入により、スタッフの意識変化をアンケートで確認(発表準備中)

医学部看護学科との共同研究

本研究は、平成28年度~平成31年度科研B:「NICU明暗環境の時間生物学的評価ツールと子どもに優しい成育環境基準の検討」の助成を受け実施したものである。

Neonatal Intensive Care Unit

新生児 特定 集中治療室

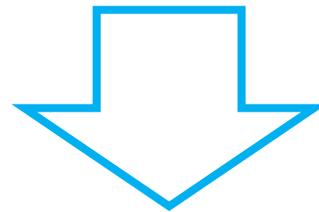


早産、感染症…

新生児に高度な医療を提供する場所

「赤ちゃんに優しい環境」求めている

過度の騒音 = 新生児の神経発達に悪影響の可能性



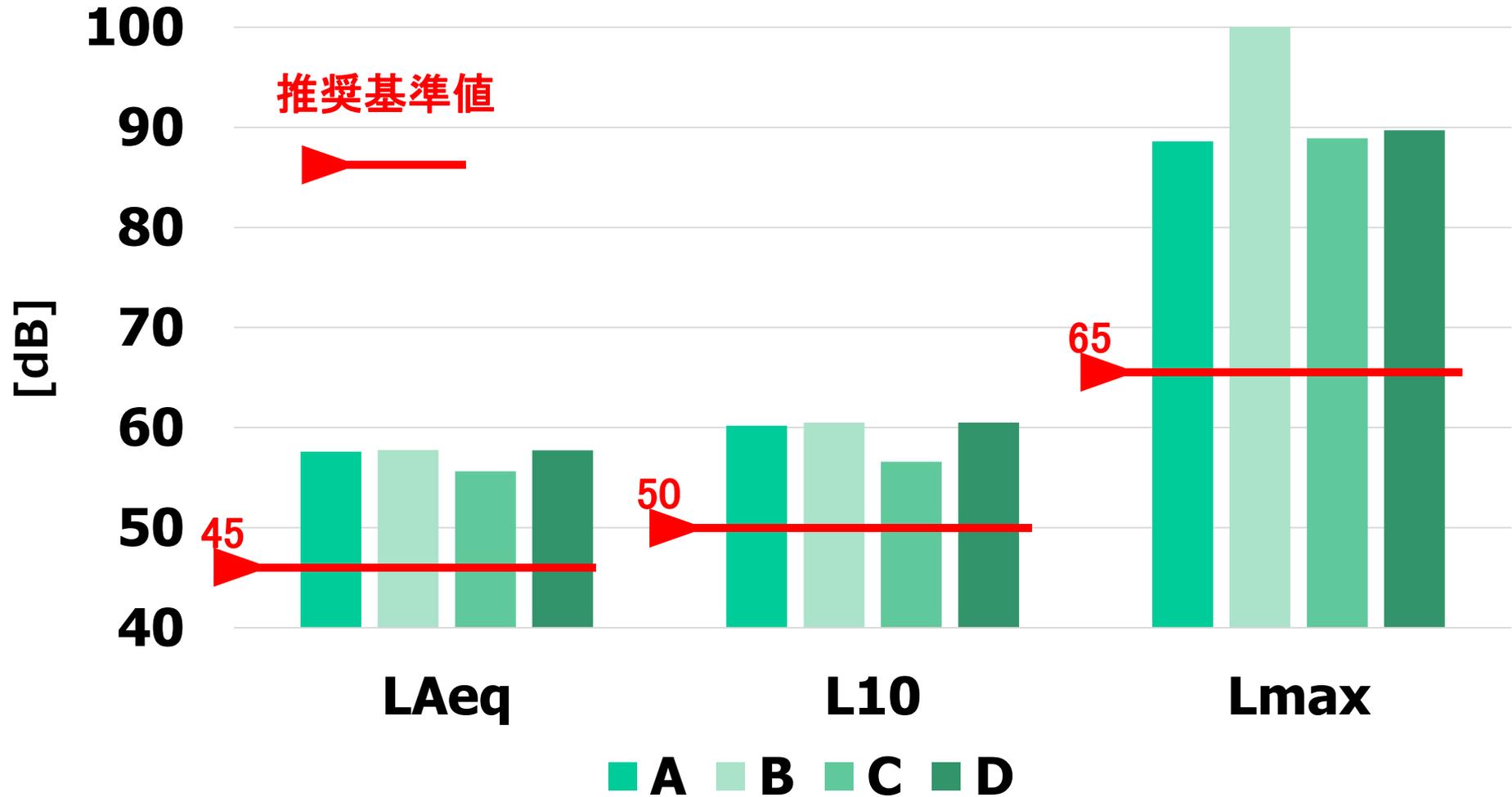
推奨基準(AAP発行): **45dB($L_{Aeq,1h}$)**

American Academy of Pediatrics and

The American College of Obstetricians and Gynecologists

[アメリカ小児科学会およびアメリカ産婦人科大学]

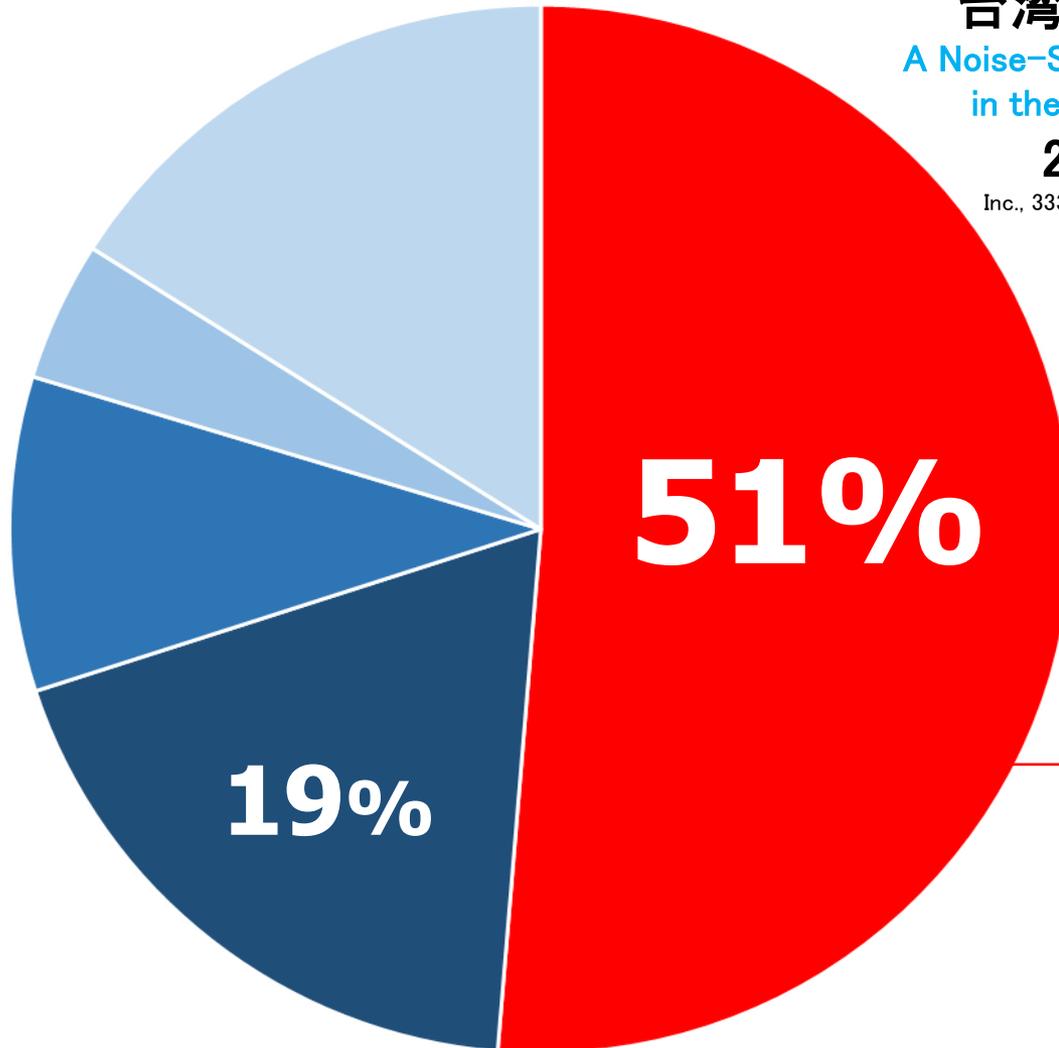
現状: 10dB超過



三重県内の4施設(調査を行ったすべての施設)で
超過(AAP推奨基準値)

台湾で行われた先行研究 A Noise-Sensor Light Alarm Reduces Noise in the Newborn Intensive Care Unit

2006 by Thieme Medical Publishers
Inc., 333 Seventh Avenue, New York, NY 10001, USA.



スタッフの会話
大きな要因に

スタッフの会話
staff conversations

台湾で行われた先行研究

機械音を下げる=非現実的(理由:医療施設)
着目:「人の発生させる音」
“意識づけ必要”と考えた

暑さ/寒さ

音の大きさ

温度計

騒音計

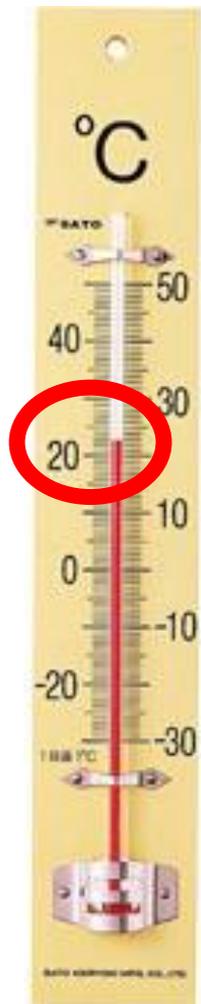
気温
(単位: 摂氏)

A特性音圧レベル
(単位: デシベル)

23°C

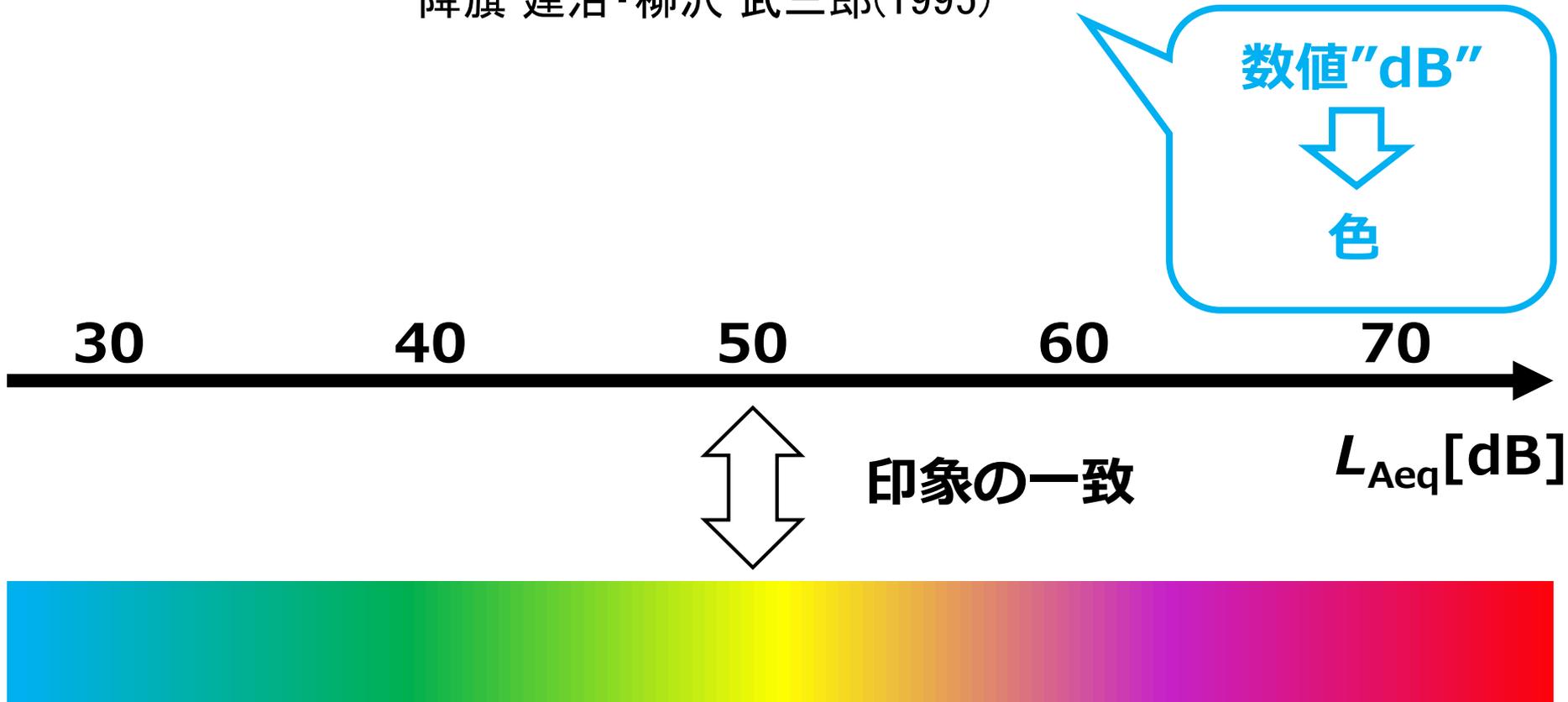
68.8dB

ほとんどの人が
わからない



色相と等価騒音レベルからなる評価尺度による
色相騒音計とその有用性

降旗 建治・柳沢 武三郎(1995)



1995年当時

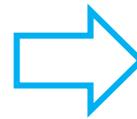


現在



騒音計
+
パソコン

アナログ
併用

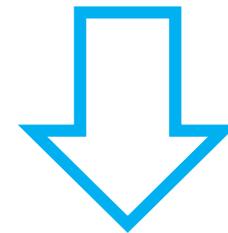


完全
デジタル

タブレット
+
アプリ



発展性
通信機能等あり



いつ・どこが

Androidタブレットによる実現

NOW
RECORDING

0.5_{second}

5_{second}

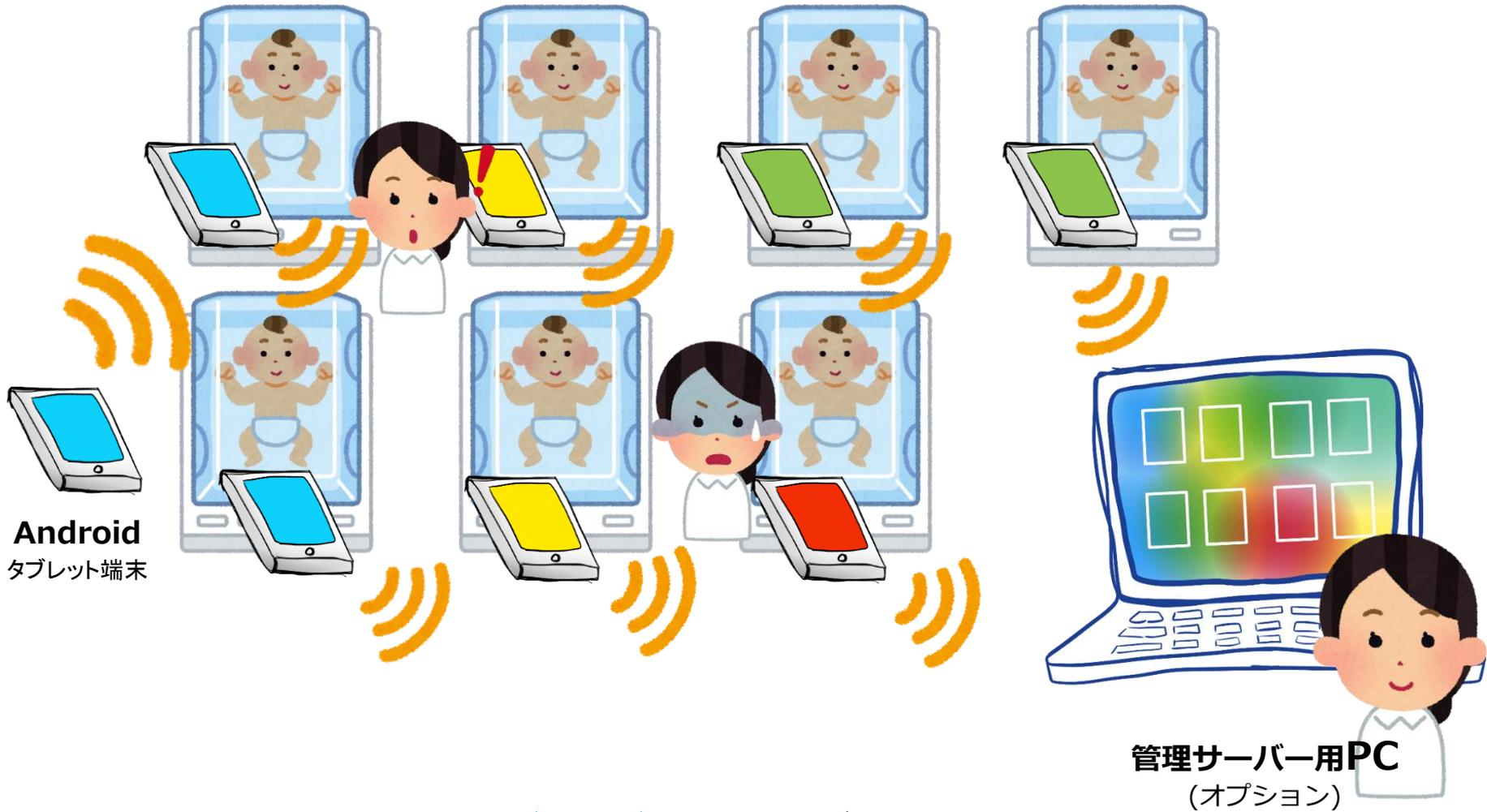
1_{minutes}

1_{hour}

Laeq, 1h [dB]

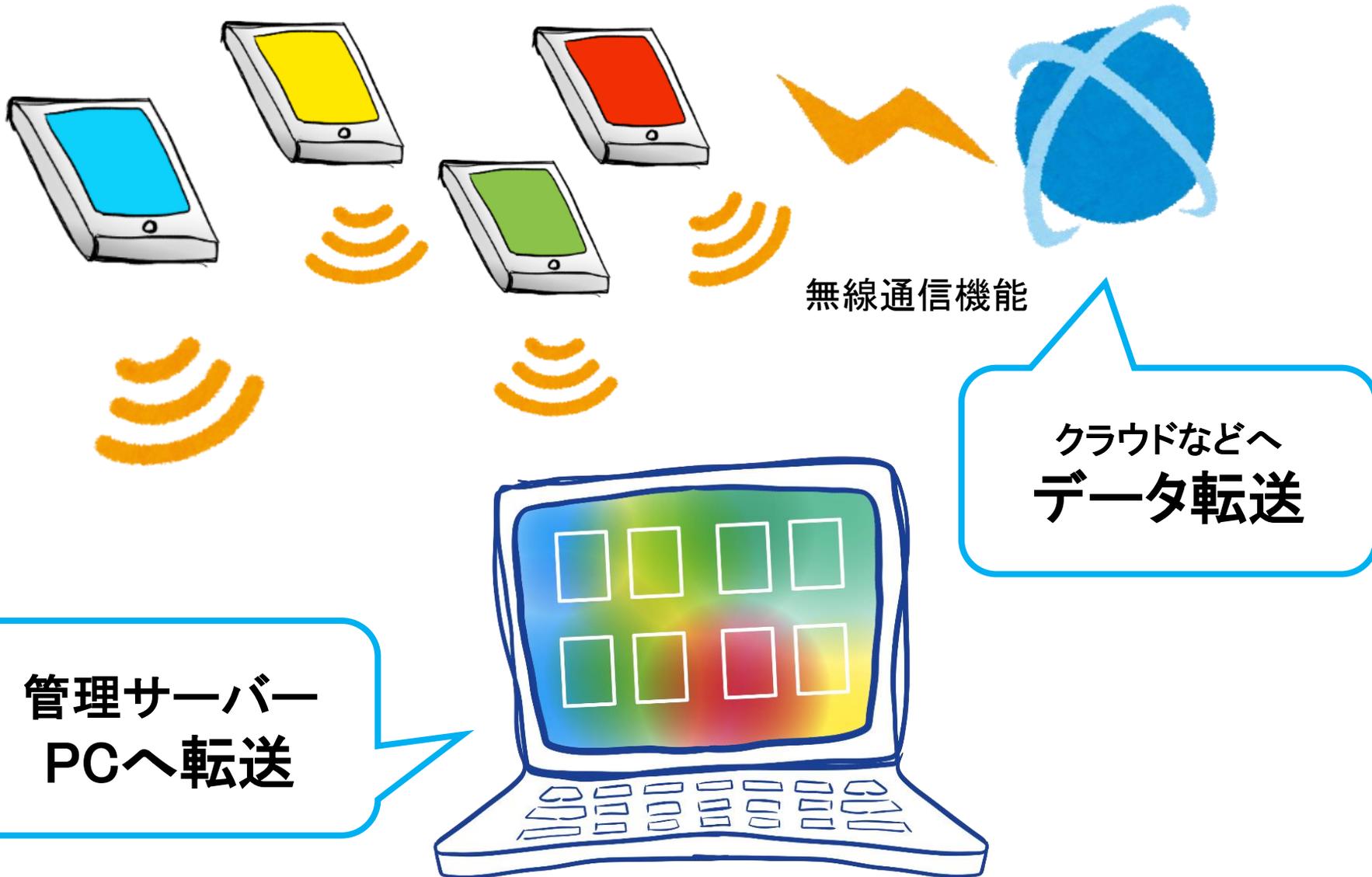
This is AAP

Recommended Reference Value

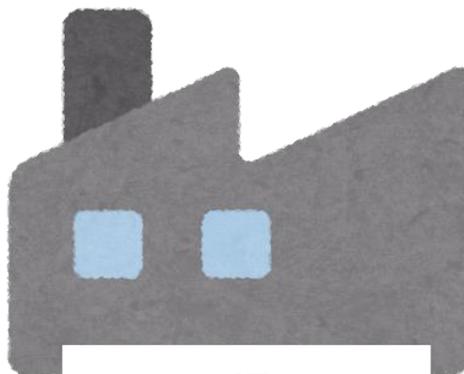


ここが騒がしいかだけでなく

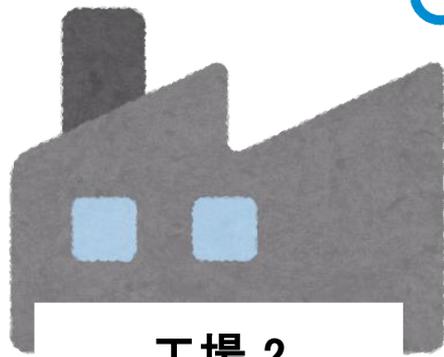
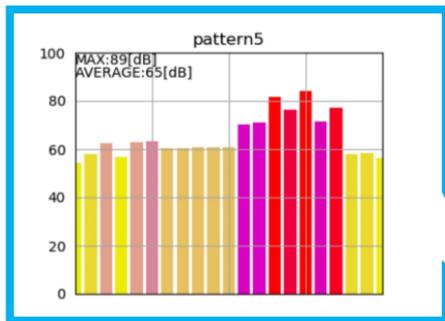
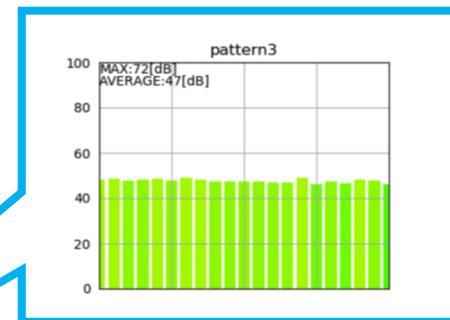
いつ・どこが騒がしい？



NICU以外の例：音源調査



工場 1



工場 2

