

修士論文

NICUにおける保育器用覆布の 遮音効果の改善事例

令和2年度

三重大学大学院 工学研究科
博士前期課程 物理工学専攻

大藤 裕一

目 次

第 1 章 序論	4
1.1 NICU の役割	4
1.2 NICU の環境と児の発達	4
1.3 AAP が定める騒音に関する推奨基準値	4
1.4 NICU の騒音に係る環境の実態	5
1.5 本研究の目的と位置づけ	6
1.6 本論文の構成	7
第 2 章 現状把握と設計の目標値	8
2.1 はじめに	8
2.2 保育器内の騒音要因の推測	8
2.3 NICU における騒音レベルの現状	9
2.4 NICU における保育器外の騒音源と覆布に着目した理由	11
2.5 覆布とは	15
2.6 遮音効果の改善目標	16
2.7 まとめ	17
第 3 章 試作覆布の設計	18
3.1 はじめに	18
3.2 材質の決定	18
3.3 遮音・吸音のメカニズム	19
3.4 質量の設計	20
3.5 まとめ	22

第 4 章	試作覆布の遮音効果測定	24
4.1	はじめに	24
4.2	測定方法	24
4.3	周波数分析	25
4.4	まとめ	25
第 5 章	NICU 環境音に対するシミュレーション	27
5.1	はじめに	27
5.2	シミュレーション条件	27
5.3	周波数分析	27
5.4	まとめ	28
第 6 章	まとめと今後の課題	29

第1章 序論

1.1 NICU の役割

NICU とは新生児集中治療室 (Neonatal Intensive Care Unit) の略称で、未熟児や病気などの特定の治療が必要な新生児が高度な専門治療を受けるための場所である。NICU において通常、児はクベースと呼ばれる保育器の中に収容され、適切な医療処置を受ける。NICU に入る早期産児は各臓器の機能などが十分に発達していないケースもあり、環境の影響を受けやすいからである。保育器はそういった新生児の発育を助けるため、温度や湿度が常時コントロールできるよう設計されている [1]。

1.2 NICU の環境と児の発達

NICU の環境要件には温度、湿度、照度など様々あるが、これらの環境変化は新生児に持続的にストレスを与え、その発達に影響を及ぼすと考えられている。そのため NICU 環境下に長く曝される早期産児は発達障害を引き起こすリスクが高くなることが報告されており、ストレスを与えない NICU の環境づくりが必要とされている [2]。実際に NICU 内の環境が児に与える影響を指摘している研究は多い。騒音についても、新生児は大人に比べて音に極めて敏感であり、過度の騒音は心理的ストレスや血圧変動、聴覚障害や脳内出血などの原因にもなりうる可能性が指摘されている [3]。また、米国 2 施設の先行研究 [5] においても NICU 内の環境で最大 65dB もの騒音レベルが発生しており、児への影響が懸念されている現状がある。

1.3 AAP が定める騒音に関する推奨基準値

前節で述べたように、NICU では児に悪影響を与える環境になってしまっている現状があるため、保育器内外の騒音について AAP (American Academy of Pediatrics, 米国小児学会) で推奨値が定められている。その推奨値は、等価騒音レベル L_{Aeq} で 45dB 以下とされている [2]。ここで、等価騒音レベルとはある一定の時間内の騒音のエネルギーを時間平均したレベル値である。ま

た、dB は騒音レベルの大きさを表す単位である。表 1.1 は一般的な騒音レベルがどのような日常生活における環境かを示した目安である [4]。本表によれば、推奨値の 45dB は静かな事務室に近い騒音レベルであり、比較的静かな空間であることが分かる。この推奨値は新生児の心身の健康を保つために L_{Aeq} で 45dB 以上の騒音は避けるよう勧告されているものである。

表 1.1: 騒音の種類と感覚の程度の一例
(引用: ”遮音の目安”, ANZENMALL, https://www.anzen.ne.jp/other/souon_setumei.html.)

dB	騒音の種類	感覚の程度
140		耳が壊れそう
130	ジェット機の離陸	耳が痛くなる
120	リベット打ち、杭打ち	
110	自動車のクラクション	叫び声
100	電車のガード下	非常にやかましい
90	地下鉄の車内	怒鳴り声
80		電話が聞こえない
70	交通量の多い道路	大声で会話
60	騒がしい事務所	普通の会話
50	テレビ、ラジオの音	
40	電車のガード下	静か (夜)、睡眠が妨げられる
30	夜の郊外住宅地	非常に静か
20	木の葉のそよぎ	ささやき声

1.4 NICU の騒音に関係する環境の実態

表 1.2 は、米国 2 施設 (表 1.2 中の NICU A, NICU B の表記) にて行われた、1 週間にわたる NICU 環境調査の結果である [5]。2 施設ともケアのレベルによって隔離室 (感染症または他の患者と隔離が必要な状態の患者が入る部屋)、レベル 2 (容体が落ち着いた患者が入る部屋)、レベル 3 (重症患者で集中治療が必要とされる患者が入る部屋) に分けられている。2 施設の全部屋においておよそ 50~65dB の騒音が記録されており、推奨値の 45dB をすべての時間帯において大幅に超過している。また吸音性の高い壁材を使うなど騒音対策を施している施設 (表 1.2 中の NICU B の表記) でさえも最大で 65dB にもなる騒音が記録されている部屋もあり、NICU 内の騒音を減らすための対策検討が必要であると考えられる。

表 1.2: 米国 2 施設にて行われた 1 週間にわたる NICU 環境調査の結果
(引用: [4], 2007, pp.2684)

施設名	部屋の種類	騒音レベル
NICU A	隔離室	約 60~64dB
	レベル 2	約 62~65dB
	レベル 3	約 60~62dB
NICU B	隔離室	約 53~64dB
	レベル 2	約 49~59dB
	レベル 3	約 55~60dB

また表 1.3 に示すような、保育器内部での騒音を減少させる研究も様々行われており、代表的なものに ANC を用いた手法 [6] や共鳴型吸音材を用いて保育器内で吸音を行う手法 [7] がある。しかし ANC を用いた手法では、500Hz 付近の低周波領域など特定の周波数帯域には大きな効果が得られるが、他の帯域では効果が見られなかったと報告されており、また共鳴型吸音材を用いた研究においても、吸音板一枚につき対応できる周波数帯域が狭いことが挙げられ、保育器内の減音には課題が残っている。これらのデメリットは大きく、技術レベルで研究がされている段階ではあるが、実際の NICU での実装に至っていないのが現状である。一方で、今までに研究事例はないが現場で実際に使用されている覆布（遮光などの目的で使われていて遮音効果は謳われていない）には、現場のスタッフレベルでは遮音効果が期待されている。本研究では、導入が容易であり、かつアラーム音やスタッフをはじめとする人の声など高周波数領域の音を幅広く遮音できる覆布に着目をした。しかしながら、現在 NICU で使用されている覆布は遮音性能が十分ではなく、改善が必要とされる。

表 1.3: 保育器内部における減音研究の特徴

研究例	利点	欠点
覆布	<ul style="list-style-type: none"> ・高周波数帯域で高い減音効果。 ・広い周波数帯域で減音可能。 ・保育器外に設置できる。 	
ANC	<ul style="list-style-type: none"> ・500Hz 付近の低周波数帯域では高い減音効果。 	<ul style="list-style-type: none"> ・その他の周波数帯域で効果が少ない。または増幅。 ・設置機器が複雑で保育器内に施す必要性有。
共鳴型吸音材	<ul style="list-style-type: none"> ・特定の周波数帯域では高い減音効果。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一つの種類で吸音できる周波数帯域が狭い。 ・保育器内に施す必要性有。

1.5 本研究の目的と位置づけ

1.4 節で述べた背景から、本研究では以下の 3 点を目的として設定した。

1. 保育器内部での騒音レベルの推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ を満たす時間帯を増やし、全ての時間帯において推奨値を満たす。（目的 1）
2. 既存の覆布を改良して、 L_{Aeq} で 3.4dB の遮音性能を改善する（目的 2）
3. 予想される騒音源の特徴である高周波領域の騒音の低減（目的 3）

これらの目的を達成するために前述の覆布に着目をして遮音性能の改善を行い、定量的な遮音効果測定さらには試作覆布の有効性を評価した。本研究では、他研究事例とは違い、保育器外の

騒音要因が内に侵入して保育器内の騒音レベルが引き上げられていることを指摘した。さらには消音や吸音のアプローチをとっている他研究事例とは異なる、保育器外の騒音を遮音することによって目的を達成するアプローチを提案した。また、覆布という遮音効果がうたわれていないアイテムに遮音効果の可能性を見出し、これまでの研究でされていない覆布の遮音効果を定量的に測定し、さらには目的を達成するために遮音性能の改善目標値を設定した。改善を考える上では、覆布に求められる条件を基に材料を選定し、過去に測定したデータから必要な予測し遮音性能改善に必要な材料の厚さを決定した。試作した覆布の遮音効果の有効性を評価したシミュレーションでは、今までの研究ではできなかった、実際の NICU で期待される騒音レベルを 2.3 節にて行った環境測定データから算出した。

1.6 本論文の構成

以下に本論文の構成を示す。

第2章では、NICU の環境測定やこれまで研究がされていなかった既存の覆布の遮音効果を定量的に測定し、それらの結果から覆布の遮音性能の改善目標値を設定する。

第3章では、覆布の遮音性能の改善を考えるにあたって、試作した覆布の材料や厚さの選定方法を述べる。

第4章では、試作した覆布の遮音性能を確認するために、定量的な測定を行う。

第5章では、試作した覆布を使用することによって実際の NICU 現場でどの程度の騒音低減効果が見込まれるかシミュレーションを行い、その有効性を評価する。

第6章では、本研究を総括し今後の課題について述べる。

第2章 現状把握と設計の目標値

2.1 はじめに

この章では米国2施設で行われた先行研究 [5] との比較や、覆布を用いた遮音アプローチの有効性を確認するために必要な基礎データを収集するという目的で、三重大学附属病院の NICU において環境測定を行った。そして、このデータに基づいて覆布の遮音性能改善の目標値を定めた。

2.2 保育器内の騒音要因の推測

まず保育器内の騒音について調べるため、三重大学医学部看護学科の母子実習室において内部音を測定した。保育器 (ATOM,V-2200) は 2004 年～2010 年にかけて販売されていたもので最新型ではないものの一般的に NICU 現場で多く使用されている機種である。保育器内部にはファン騒音や加湿時のボイラー音などが騒音要因として挙げられ、保育器稼働させた状態で測定を行った。測定は図 2.1 に示すように、マイクロホンとハンディレコーダ (ZOOM,H6 handy recorder) を用いて収音を行った。保育器内の騒音レベルを表したグラフを図 2.2 に示す。保育器内の騒音レベルは、低周波領域に音が集中しており、 L_{Aeq} で 42.3dB と推奨値の 45dB を満たしていることが分かった。しかしながら、保育器の外部で発生した騒音が保育器内に侵入して騒音レベルが引き上げられている可能性がある。そのため、保育器内の騒音レベルを、推奨値を満たすレベルにするためには、保育器外の騒音の侵入を防ぐことが必要である。

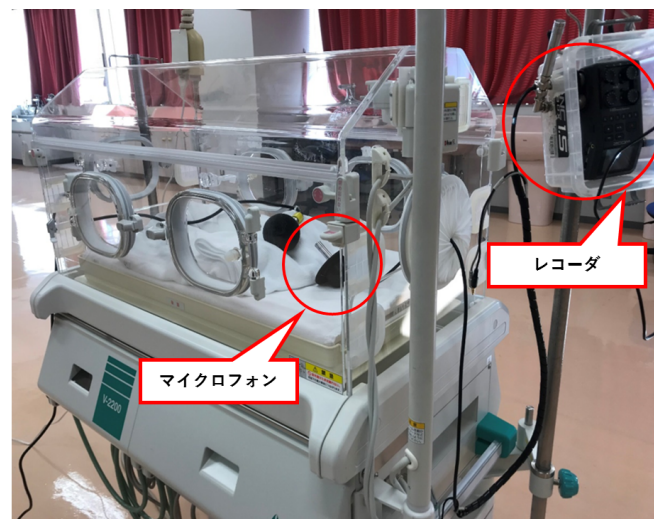


図 2.1: 保育器内部音の收音の様子

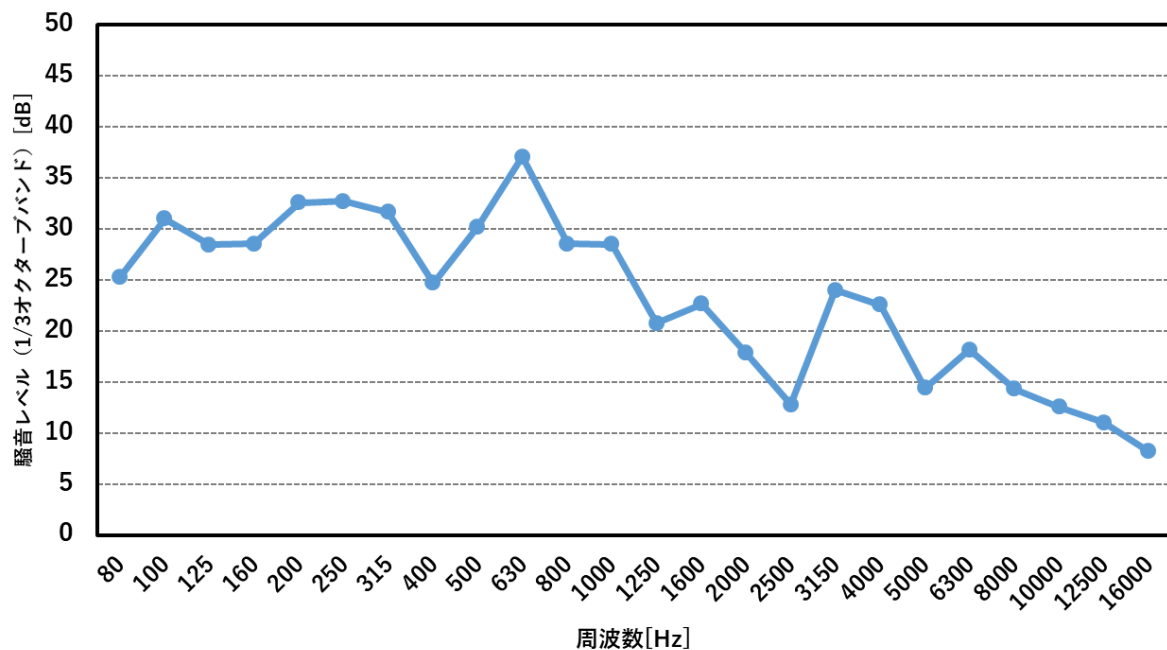


図 2.2: 静かな環境で測定した保育器内部音の騒音レベル

2.3 NICU における騒音レベルの現状

2.1 節の測定結果を踏まえて三重大学附属病院の NICU において環境測定を行った。図 2.3 のように部屋の中心地点の高さ約 2m に騒音計（RION,NL-62）を取り付け、1 週間連続で收音を行った。図 2.4 が録音して解析した観測データで、横軸が時間で縦軸が一時間の L_{Aeq} を表している。さらに○印は平日（その平均を実線）、×印は休日（その平均を破線）を表している。結果を見ると、53～65dB の騒音が発生しており、すべての時間帯において推奨値 45dB を満たしていないこ

とが分かる。最大ではおよそ 65dB もの騒音が発生しており、保育器内部の騒音レベルにも影響を及ぼしていることが懸念される。1 章で記述した米国 2 施設での先行研究 [5] でもおよそ 53~65dB の騒音が記録されており、NICU 内がほぼ同等の騒音レベルであることが今回の環境調査で明らかとなった。



図 2.3: 騒音計による收音の様子

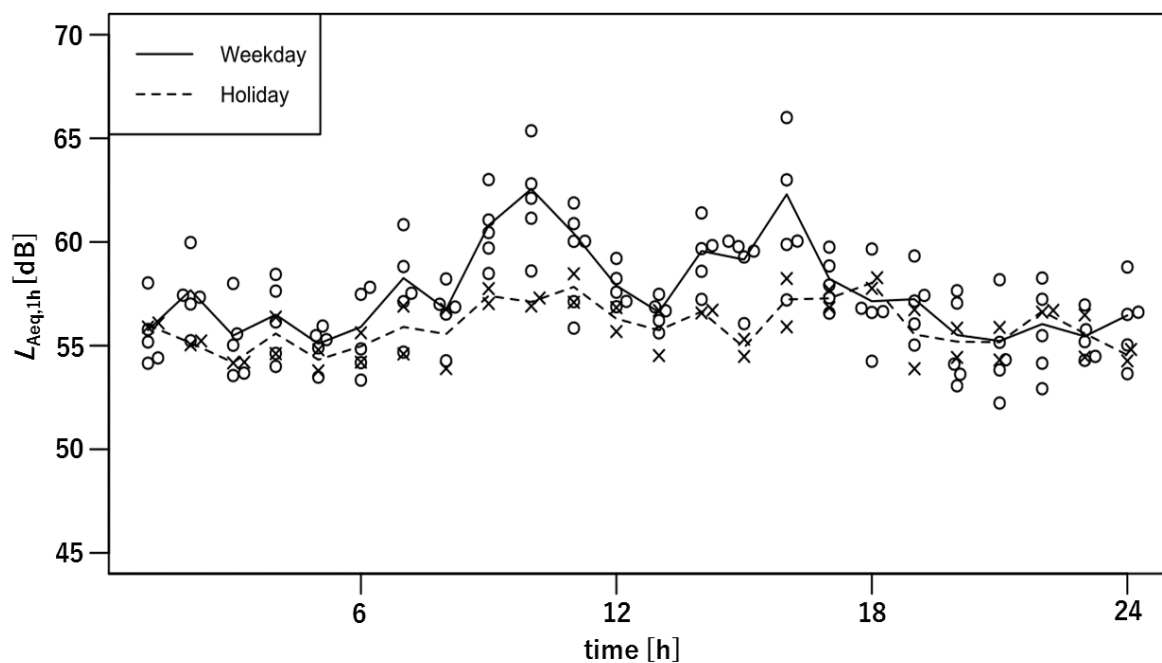


図 2.4: 三重大学附属病院 NICU における保育器内外観測データ

2.4 NICUにおける保育器外の騒音源と覆布に着目した理由

次に保育器外の騒音要因を調べるために、NICU内における1週間の環境測定において80dB以上の音を抽出し、耳で聞き分けてその種類を分類した。図2.5はその結果で、左側の数字が発生回数、右側の数字が発生率を示している。その他には物の衝突などの衝撃音やその他不明な音源を分類した。グラフを見てみるとスタッフの会話、アラーム音、児の泣き声などの騒音の割合がそれぞれ29%、22%、21%と高く、大きな騒音要因となっていることが分かる。保育器内の騒音レベルを下げるには、これらの外部騒音に着目をして対策を練る必要がある。

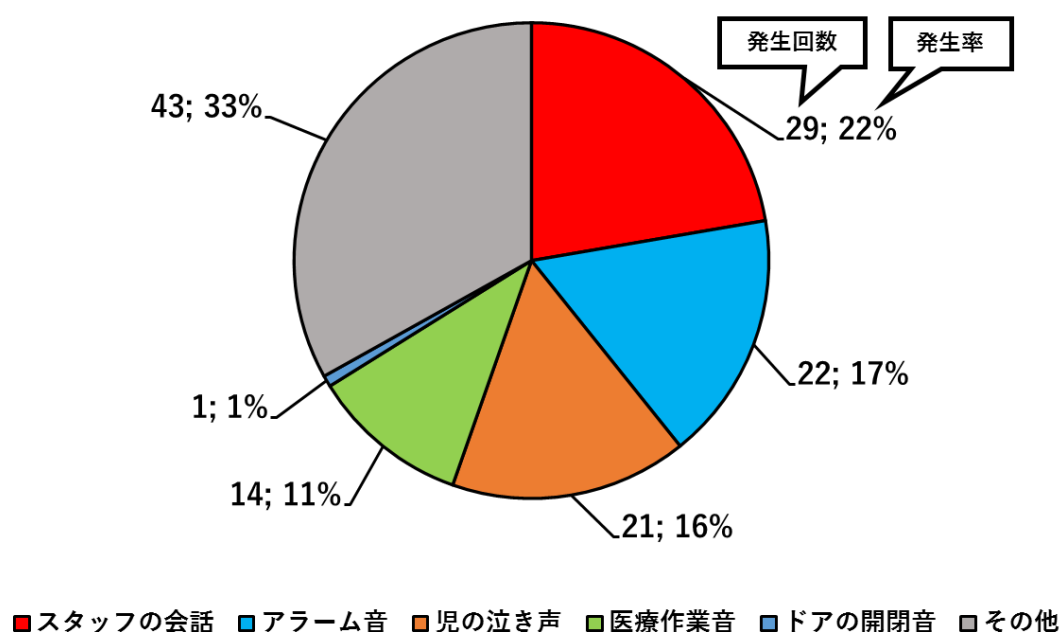


図 2.5: NICU 内騒音要因とその発生率（80dB 以上のうるさい騒音）

次に、録音したデータのうち80dB以上を記録した騒音のデータを種類別にFFT解析し、騒音要因の周波数特性を調査した。図2.6、図2.7、図2.8、図2.9、図2.10はそれぞれ縦軸が騒音レベル、横軸が周波数で、スタッフの会話、アラーム音、児の泣き声、医療作業音、その他の音の周波数特性を表したグラフである。それぞれのスペクトルを見てみると、500～5000Hz帯域にピークが見られ、騒音エネルギーが集中していることが分かる。また、アラーム音はデータによるバラつきが小さいことから、似たような特徴を持っていることが分かる。500Hz～5000Hzの帯域に騒音エネルギーが集中していることから、NICUの保育器外の騒音を遮音するには、これらの高周

波数領域の音に対しての対策が必要である。そこで本研究の覆布を用いた遮音法が、今回のケースのような高周波数帯域の遮音に大きな効果を発揮すると考えた。遮音材料を用いたノイズコントロールは高周波数帯域の音に対して高い効果を発揮することが一般的に知られている。

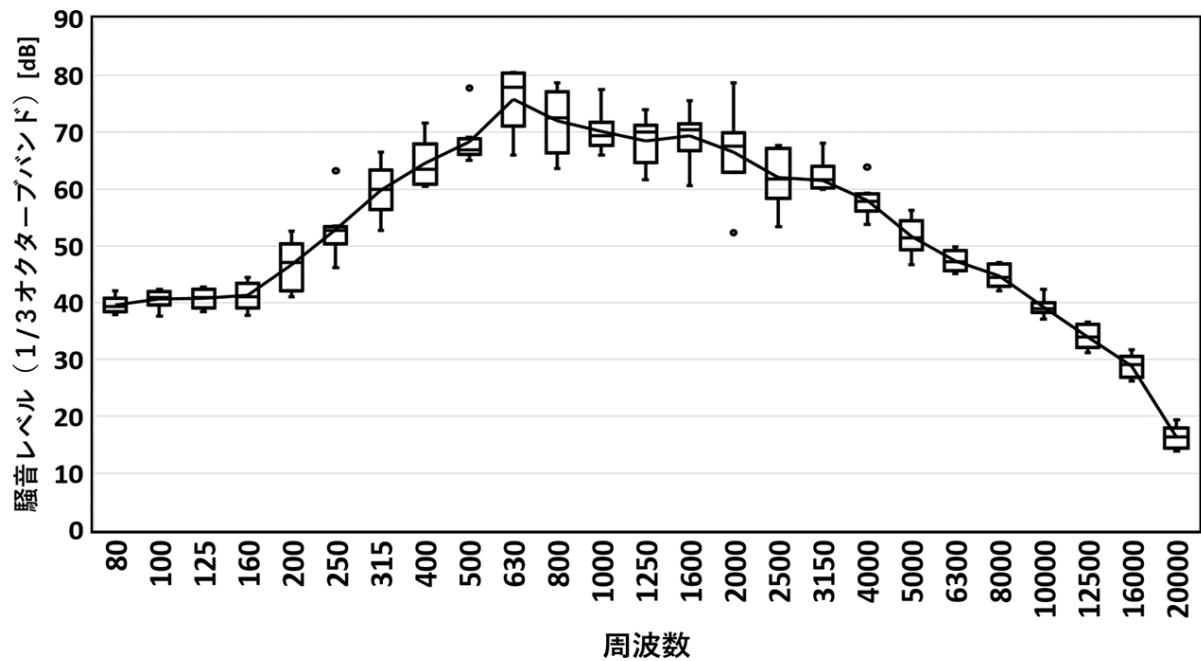


図 2.6: スタッフの会話の周波数特性

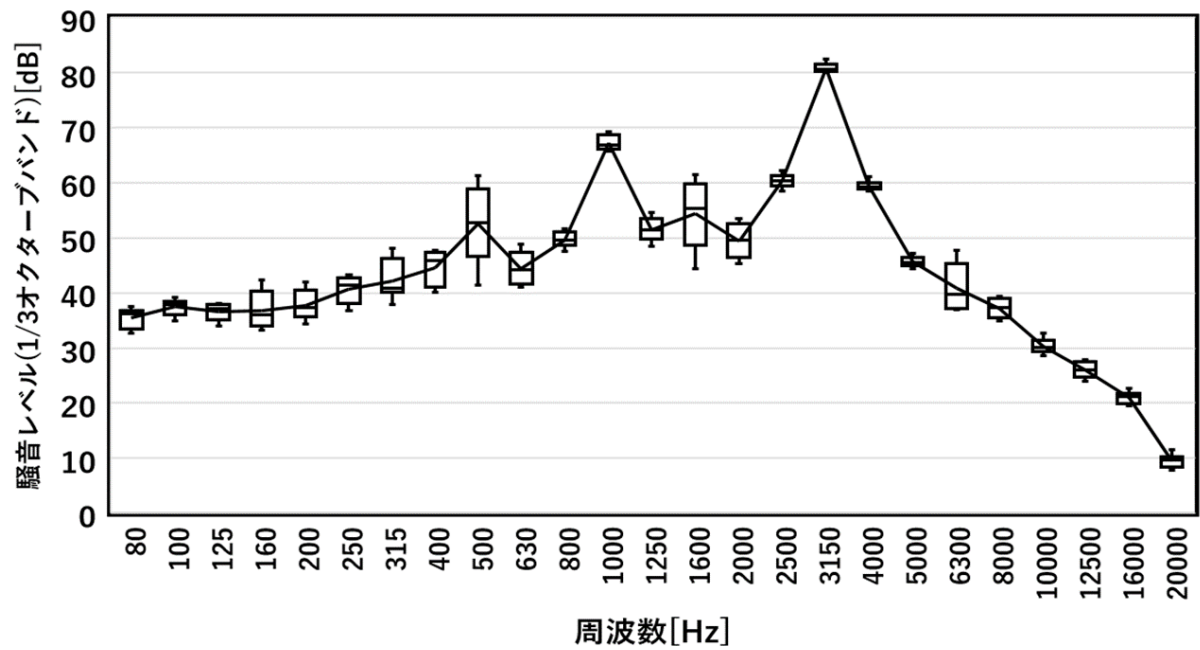


図 2.7: アラーム音の周波数特性

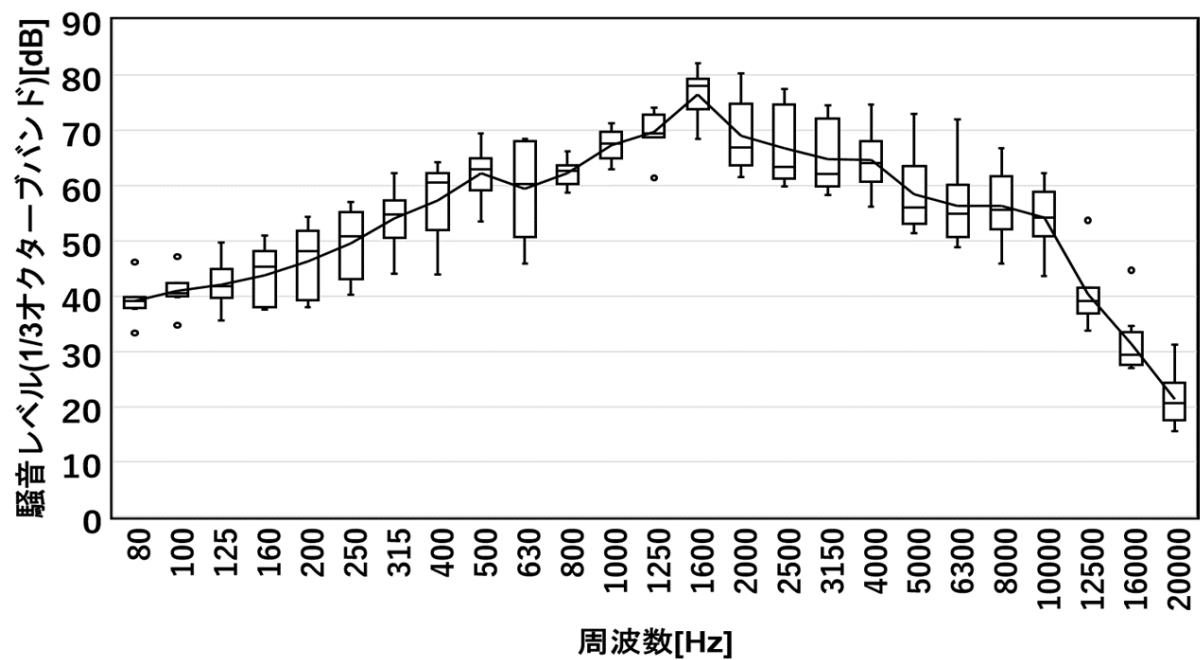


図 2.8: 児の泣き声の周波数特性

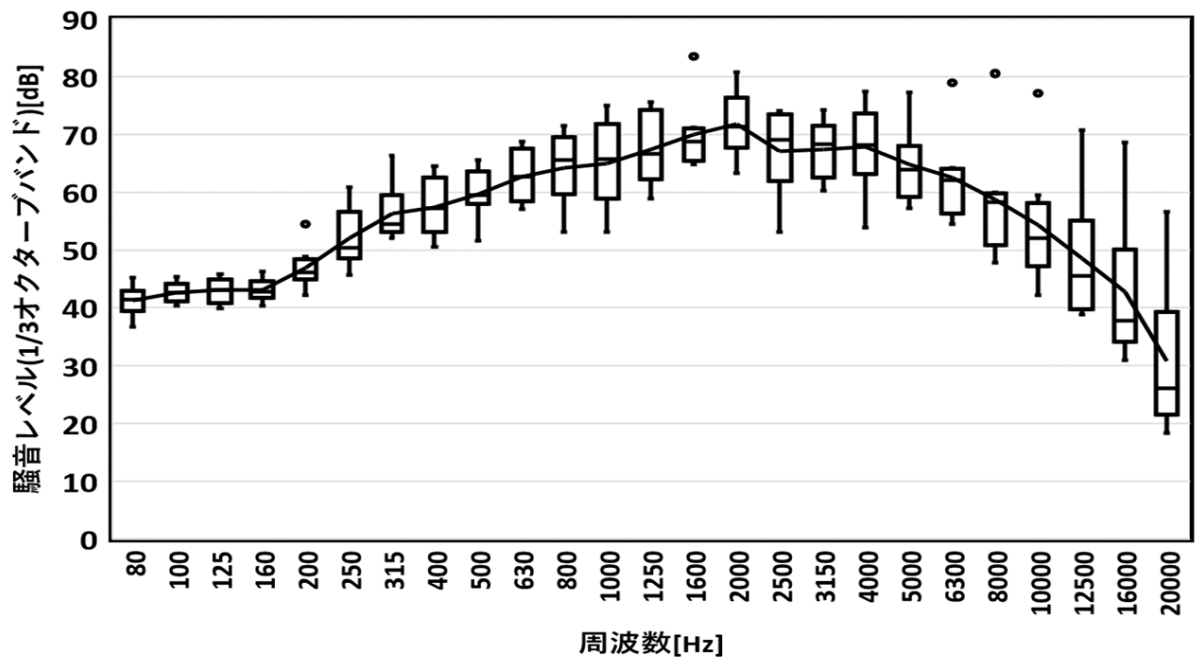


図 2.9: 医療作業音の周波数特性

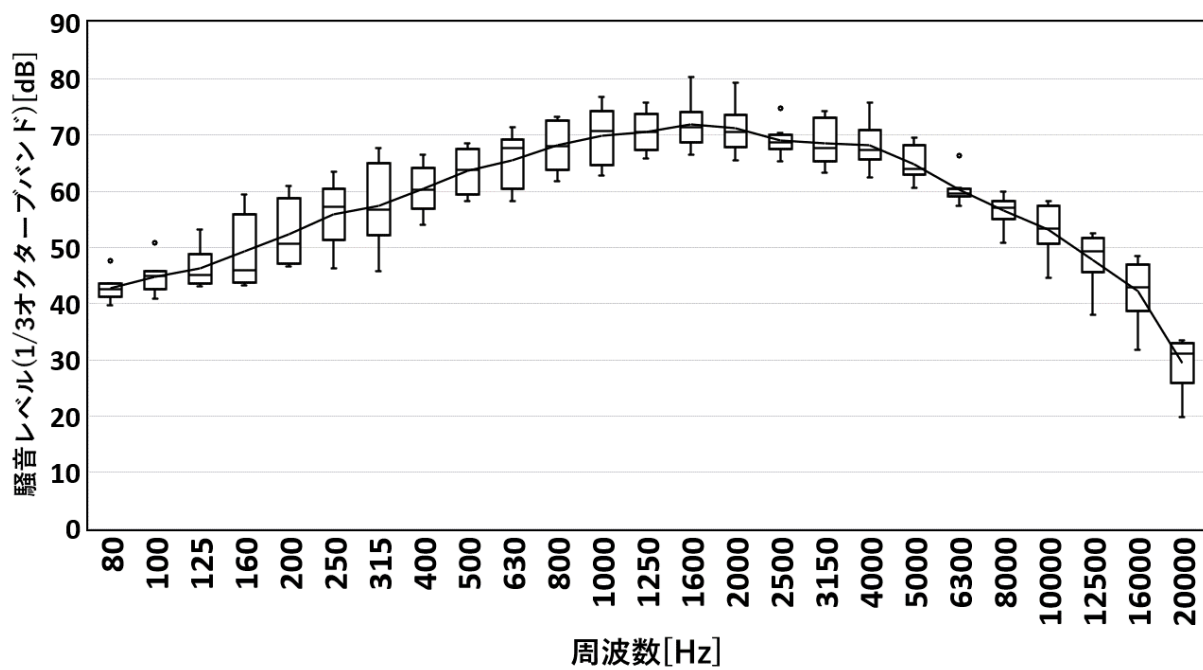


図 2.10: その他の音の周波数特性

2.5 覆布とは

覆布とは本来、保育器の遮光や防水を目的に作られたものである。図 2.11（以後、type1 の表記）、図 2.12（以後、type2 の表記）は実際の NICU にて使用されている覆布の写真である。覆布には遮音効果はうたわれておらず、今までに研究事例がないものの現場のスタッフレベルでは遮音効果も期待されている。そこで本研究では既存の覆布に着目し、内部に侵入する音を覆布によって遮音することでどの程度の騒音レベルが低減されるのか検証した。測定は三重大学医学部看護学科の母子実習室において保育器（ATOM,V-2200）を用いて行った。今回の測定ではホワイトノイズを外部音と見立てて、保育器外の周囲の騒音レベルが均一になるよう、2つのスピーカーから斜めに放射した。このホワイトノイズに対する覆布の透過損失を表した測定結果が図 2.13 である。図 2.13 に示す通り、いずれの既存の覆布とも 2dB ほどの遮音効果しかなく、遮音性能は不十分であることが判明した。そのため、この既存の覆布を改良して遮音性能を高めることにより、保育器内の推奨値を満たす騒音レベルの時間帯を増やすアプローチを試みた。

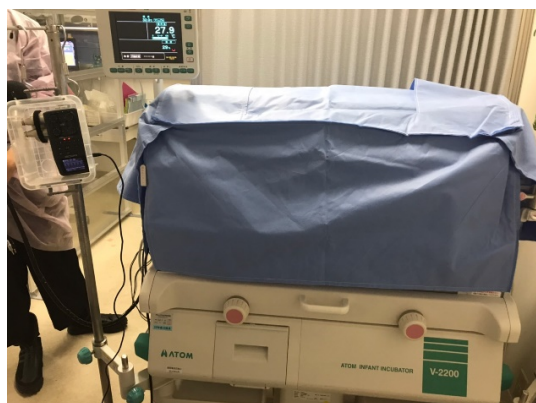


図 2.11: NICU における覆布（大衛）



図 2.12: NICU における覆布（ATOM）

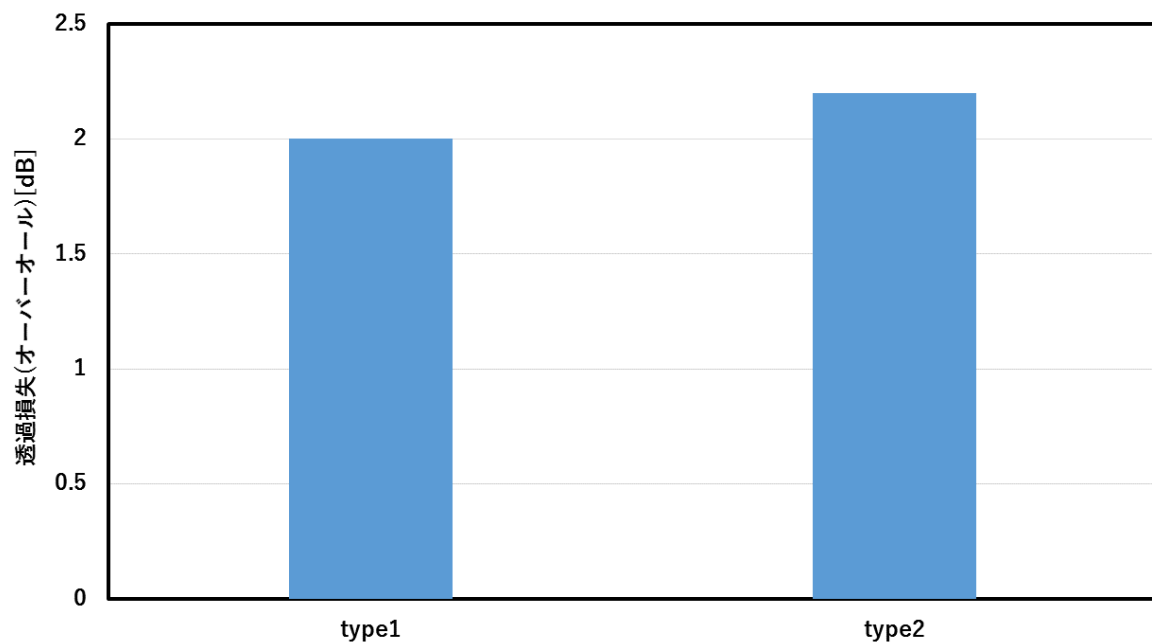


図 2.13: 現状の覆布の透過損失量

2.6 遮音効果の改善目標

2章の2節で述べたように保育器外部の NICU 環境音は最大でおよそ 65dB もの騒音レベルを記録しており、保育器フードや既存覆布の透過損失を考慮して遮音性能の改善目標値を算出した。図 2.14 は、保育器外を青、保育器内をオレンジ、既存覆布を掛けた際の保育器内を緑で表した、縦軸が騒音レベル、横軸が周波数のグラフである。保育器外部の NICU 環境音から保育器フードと既存覆布の透過損失量を周波数帯域ごとに減算して求めた。よって保育器内部騒音レベルを、全ての時間帯において推奨値 $L_{Aeq} = 45\text{dB}$ を満たすレベルにするためには既存の覆布の透過損失量に加えて、さらに 3.4dB の遮音性能の上乗せが必要とされる。この 3.4dB の遮音性能の改善を目標に覆布の改良を行った。

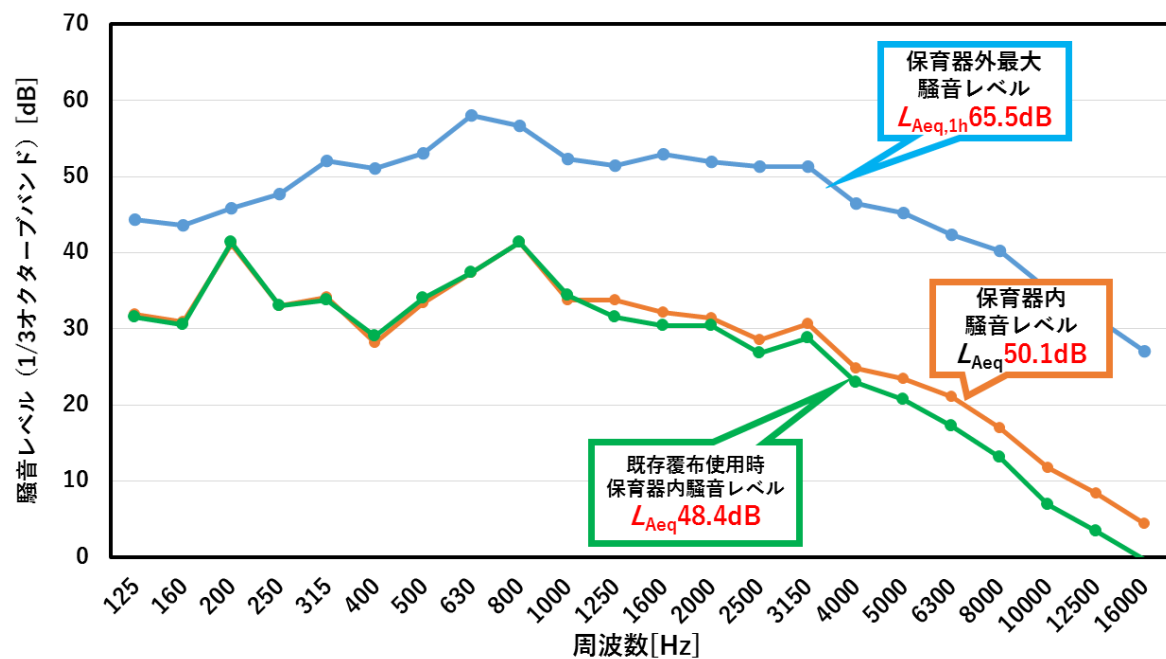


図 2.14: 試作覆布に求められる遮音性能の改善量

2.7 まとめ

今回行った三重大学附属病院 NICU における環境測定の結果、先行研究の結果と同様の騒音レベル値（53～65dB）が観測された。また、保育器内外の騒音がすべての時間帯において推奨値の $L_{Aeq}=45\text{dB}$ を満たすことができておらず、保育器内において減音対策が必要であることが判明した。そのために我々は環境測定データから保育器外から内部に侵入してくる騒音を覆布で遮音する方法が有効であると考えた。さらには、現状の覆布の遮音量を測定することにより、全ての時間帯において保育器内の騒音レベルを推奨値を満たすための遮音性能の改善目標値は 3.4dB の効果上乗せと定められた。

第3章 試作覆布の設計

3.1 はじめに

本章では2章で定められた3.4dBの遮音性能の改善目標を達成するために改良を行った覆布の材料や構造設計の詳細を述べる。覆布には遮光性、柔軟性など満たされていなければならない条件があり、それらが考慮された材料を選定した。また遮音性能は使用する材料の厚さと深い関係があり、過去に測定したデータや参考となる基礎知識とともに構造設計を決定した。

3.2 材質の決定

実際の医療現場で使用される覆布には、以下の満たしていなければならない条件がある。

- 遮光性：直射光から新生児を守るために、光を遮る効果があるもの。
- 柔軟性：NICUには緊急の処置が必要になる場合があり、処置の妨げになるあるいは新生児に危害が及ぶような硬度の材質（硬い材質）は避ける必要がある。
- 吸水性：NICUなどの治療室では液体の薬剤などが使用される。これらの薬剤から児を守るために、覆布で吸水ができるような材質が求められる。
- 不燃性：過去には処置の機器が原因で火事が引き起こりそうになった報告例もあり、不燃性や自己消火性を持った材料が適している。
- 衛生面：感染症などのリスクがなく、有害物質を含まない材質でなければならない。ゴムなどのアレルギーの可能性がある材質も避けなければならない。

覆布の材料は以上の条件を満たしていなければならない。我々は数多くある材料の中から、5種類に候補を絞り込み、その中から条件を考慮して最終的に一つの材料に絞り込んだ。5種類からの選定過程には試作した覆布材料を用いて温度変化や遮光性に問題がないかをチェックし選定を行っ

た。選定した素材(東京防音, ホワイトキューオン)は再生ポリエステルを素材とした多孔質状の材質である。上記の材料は自己消火性を有していたり、接着剤を使用していないため有害物質を出す恐れがないなど、すべての条件を満たしている。

3.3 遮音・吸音のメカニズム

一般的な騒音対策には主に遮音や吸音が挙げられる [8]。吸音とは音を吸収して反響を抑える減音方法である。吸音材に入射した音エネルギー(図 3.1 中の E_i の表記)は材料内において、その一部が摩擦や振動によって音のエネルギーが熱エネルギー(図 3.1 中の E_a の表記)へと変換させられる。一方、遮音とは材料によって音を遮る方法で減音する手法である。音が遮音材量に入射したとき、材料によって反射するエネルギー(図 3.1 中の E_r の表記)や遮音材量の背面に透過していくエネルギー(図 3.1 中の E_t の表記)に分かれる。このエネルギー E_t 、 E_i を用いると、透過率は E_t/E_i で表され、透過率の逆数を対数表示に直したものが透過損失 TL であり以下の式で表される。

$$TL = 10 \log_{10} \frac{E_i}{E_t} [dB] \quad (3.1)$$

この透過損失 TL は遮音性能を表す値で数値が大きくなるほど遮音性能は大きくなる。遮音性能を評価する際は一般的に透過損失 TL を用いて議論をする。

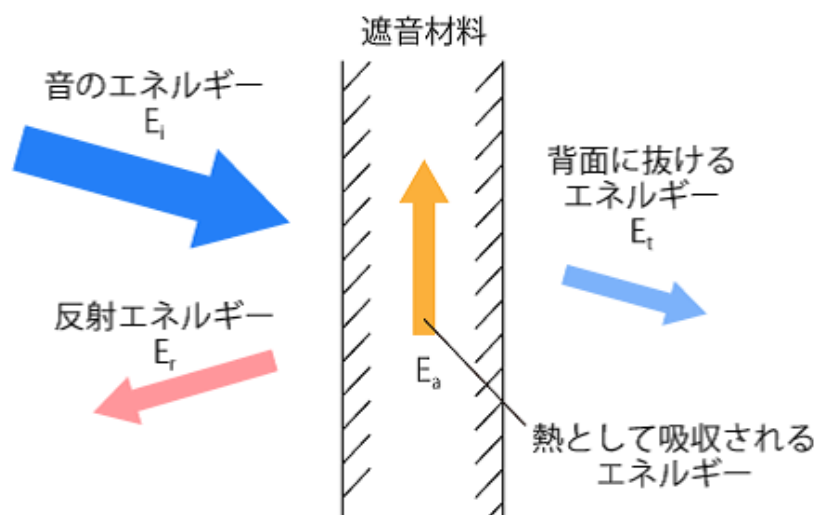


図 3.1: 遮音と吸音における騒音エネルギーフロー
(引用: <https://www.ipros.jp/technote/basic-soundproof3/>)

3.4 質量の設計

次に厚さの設計の説明をする。本研究では、今回選定した材料で 3.4dB の遮音性能を向上させるにはどの程度の厚さにすればいいかを、実際に過去に行った 3 種類の測定データから予測して設計を行った。図 3.2 は予測に用いたグラフで、縦軸が遮音できる透過損失量、横軸が材料の厚さを表している。図 3.2 中の type2,type3,type4 の覆布は実際に NICU 現場にて使用されているもので、3 種類とも断面構造や表地・裏地・中綿の材質が非常に似ているが中綿の厚さがそれぞれ異なっている。本研究で試作した覆布において選定した材料も表地・裏地・中綿の材質が既存の覆布と非常に似ており、これらの 3 つの過去のデータ（図 3.2 中の黒のプロット点）から予測ができると判断した。また前述の通り、遮音性能の改善目標値は 3.4dB なのでその数値から材料の厚さを予測した。その結果、遮音効果 3.4dB を上乗せさせるために必要な材料の厚さは 5cm に決定された。このように予測したのは、中綿分の透過損失量（図 3.3 中の黄色の部分）が表地（図 3.3 中の赤色の部分）、裏地（図 3.3 中の青色の部分）の透過損失量に上乗せされていると考えられるからである。さらに中綿の材料の厚さに比例して透過損失量も向上していくと予想したのは、5cm の厚さの材料は 1cm の厚さの材料を 5 枚重ねることと同様であると考えられるためである。

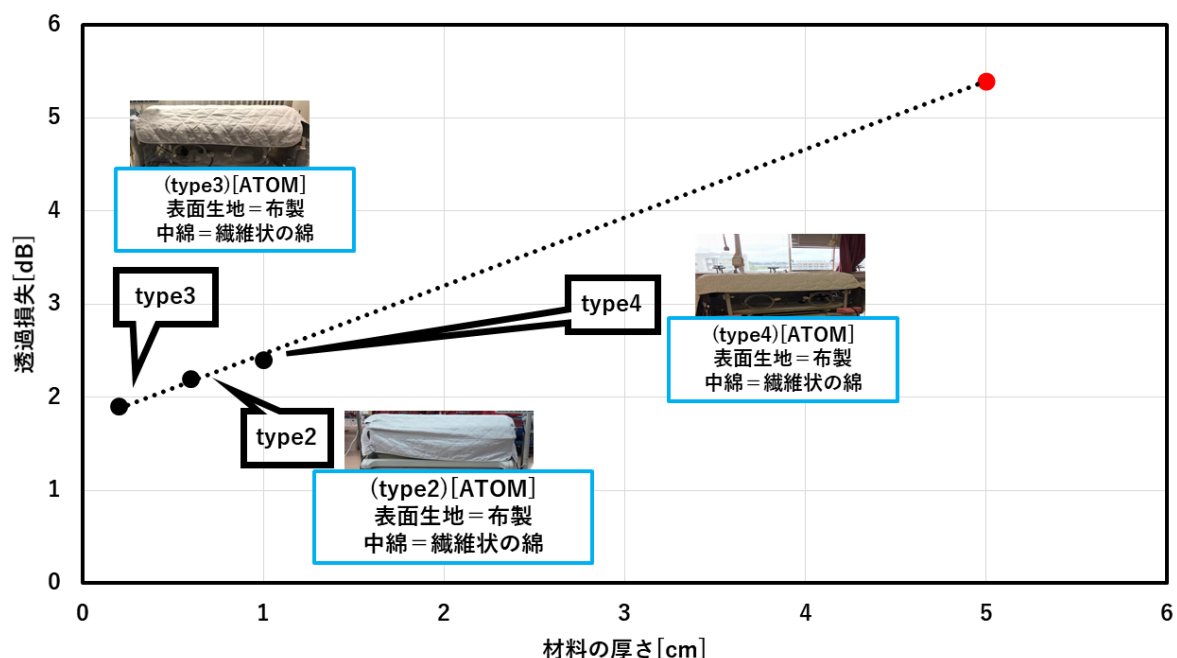


図 3.2: 測定データからの予測

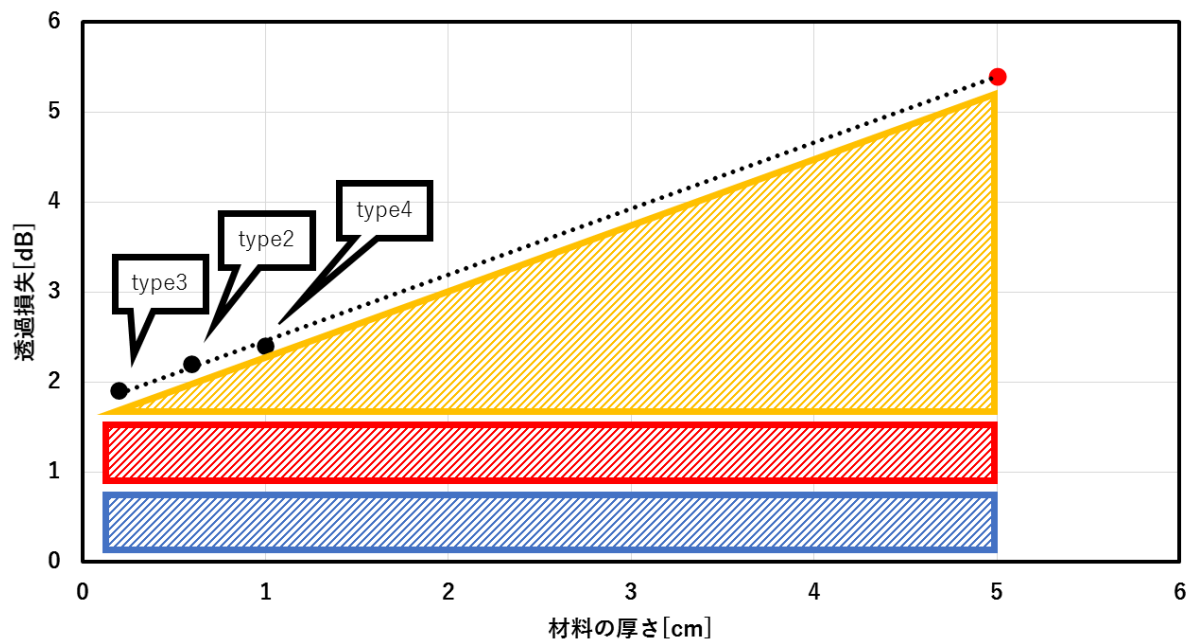


図 3.3: 予測の方法

以上のように決定された厚さで覆布を作成した。覆布の断面構造を図 3.4 に示す。図 3.4 に示す通り、覆布は布性の生地のカバーの中に中綿の素材が敷き詰められてできている。本研究で試作した覆布も同様に、選定した材料を布製の表地と裏地の間の中間層に中綿として敷き詰めた。また、覆布の寸法は図 3.5 の展開図に示すように、保育器（ATOM,V-2200）の表面積を全て覆うことができるように設計した。

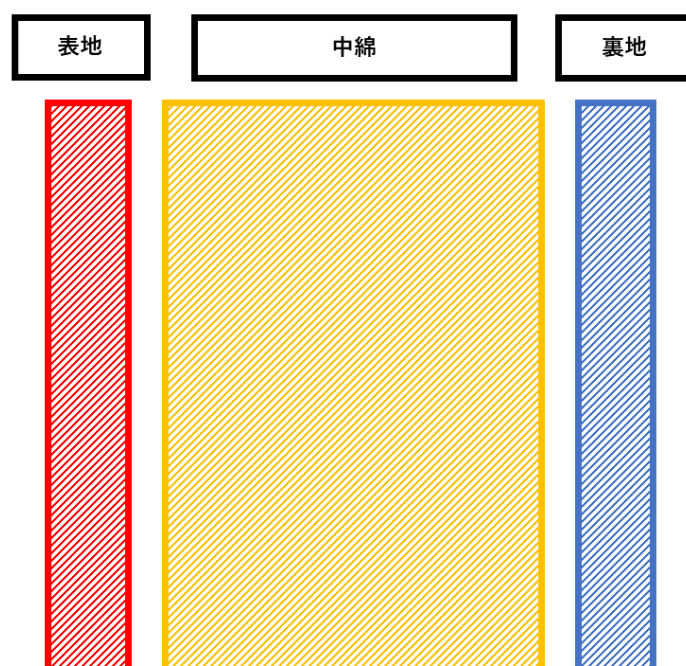


図 3.4: 覆布の断面イメージ図

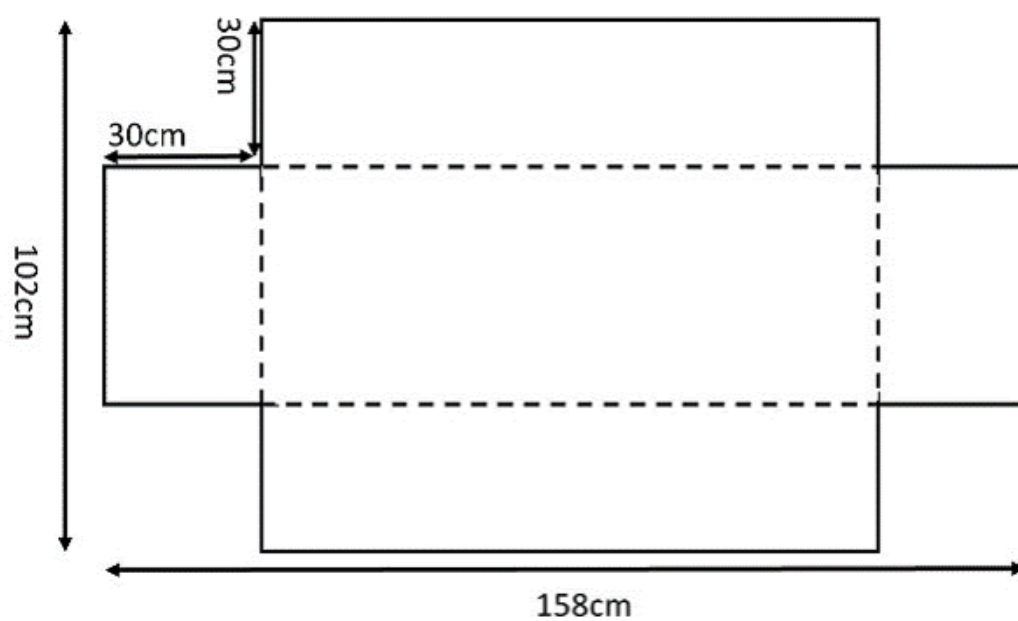


図 3.5: 試作した覆布の寸法（展開図）

3.5 まとめ

本章では覆布に求められる様々な条件を考慮して材料を決定した。選定された材料は覆布に課せられた条件をすべて満たしている特別な材料である。また厚さの決定には、過去に行った既存

の覆布の測定データを用いて予測をした。その結果、3.4dBの遮音性能上乘せに必要な材料の厚さは5cmと決定された。

第4章 試作覆布の遮音効果測定

4.1 はじめに

本章では3章で設計・試作した覆布の遮音効果を確認するために、既存の覆布の測定と同じ方法で試作した覆布に対して定量的な遮音効果測定を行った。収録したデータの解析には周波数解析を用い、周波数帯域別に透過損失を求めて遮音性能を評価した。

4.2 測定方法

測定は三重大学医学部看護学科の母子実習室にて行われ、ホワイトノイズを外部音と見立てて測定を行った。今回の測定は、保育器（ATOM,V-2200）と試作した覆布（図4.1）を用いて、より正確な遮音量を図るためにマイクロホンとハンディレコーダ（ZOOM,H6 handy recorder）で保育器内外の音を同時録音した。録音したデータの解析にはO-scope（小野測器）の基本周波数解析モードを用いてFFT解析を施した。



図 4.1: 試作した覆布を用いた測定の様子

4.3 周波数分析

図 4.2 は、試作した覆布の遮音効果を周波数帯域別に表したグラフで縦軸が透過損失、横軸が周波数を表している。また、赤が試作した覆布、水色が type2、黒が type1 の覆布のスペクトルである。周波数帯域ごとに結果を比べてみると、400Hz 以下の帯域では遮音効果は見られないが、400Hz 以上の帯域では周波数が増大するにつれて、遮音効果も増大していることが分かる。特に 1000Hz 以上の周波数帯域では効果が高く平均して 5dB 程度の遮音効果を確認することができた。既存の覆布と比べても、試作した覆布がほぼすべての周波数帯域で同等以上の高い遮音性能を得られたことが分かる。特に 400Hz 以上の帯域ではおおむね 3dB の遮音性能の改善が見られ、やはり高周波数帯域において改善効果が大きく現れた。以上の結果から、騒音要因と予想されるアラーム音や児の泣き声の騒音エネルギーが集中している 500～5000Hz の帯域に対しても既存の覆布に比べて高い遮音効果が得られたと考察できる。

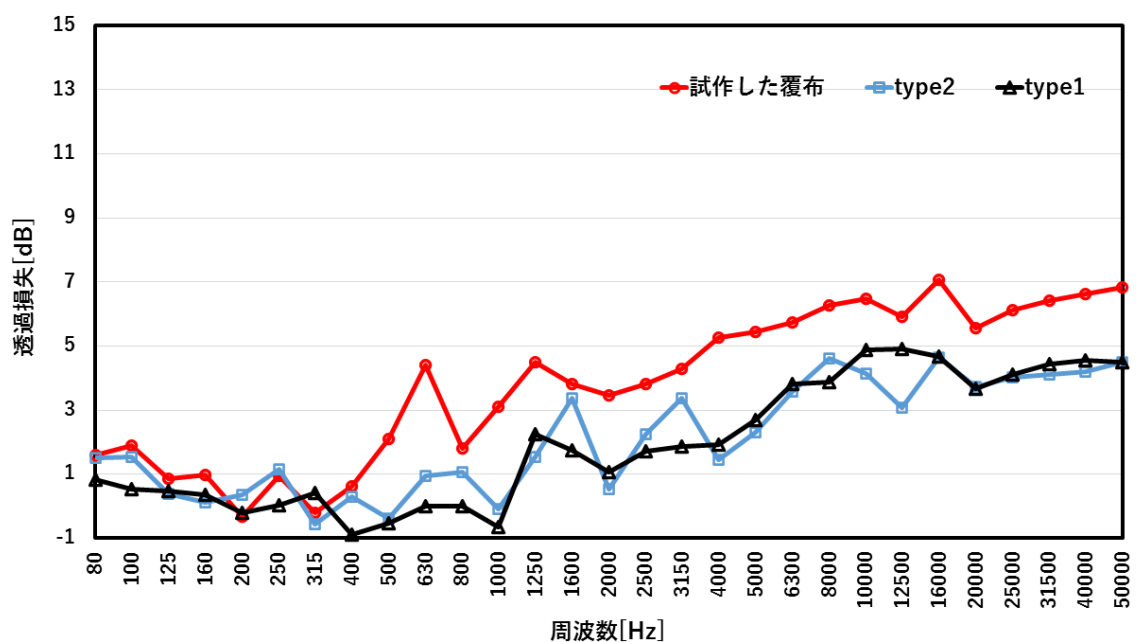


図 4.2: 周波数分析の結果

4.4 まとめ

本章では試作した覆布の遮音性能を周波数ごとに透過損失量を算出することによって評価した。既存の覆布同様、400Hz 以下の低周波数領域では遮音効果が見られなかったが 400Hz 以上の帯域では周波数帯域が大きくなるにつれて高い遮音性能が現れた。また、既存の覆布と比較しても 400Hz

以上の帯域でおよそ 3dB の遮音性能の改善が見られた。

第5章 NICU環境音に対するシミュレーション

5.1 はじめに

本章では、第4章で測定・算出した試作した覆布の透過損失量を基に、試作覆布を実際のNICUに導入した場合の騒音低減効果をシミュレーションにより見積もった。シミュレーションを行ったのはNICUにおける保育器内部の騒音レベルで、2章の環境測定で記録された中で最大の騒音レベル（保育器外で $L_{Aeq,1h} = 65.5\text{dB}$ ）が発生したケースを想定した。

5.2 シミュレーション条件

実際のNICU環境内で記録した最大の騒音レベル $L_{Aeq,1h}=65.5\text{dB}$ の騒音に対してシミュレーションを行った。試作した覆布による測定で得られた周波数帯域別の透過損失量を、帯域毎に減算をすることによって、試作した覆布を用いた際に期待される保育器内の騒音レベルを見積もった。

5.3 周波数分析

図5.1は周波数帯域別のシミュレーション結果で、縦軸が騒音レベル、横軸が周波数を表している。水色のスペクトルは保育器外、オレンジが保育器内のスペクトルを表しており、さらには赤色が試作した覆布、灰色がtype2、黒がtype1の覆布を掛けた際のスペクトルである。スペクトル変化を見てみると400Hz付近から遮音効果がみられ、1000Hz以上の帯域では5dBの遮音効果が予想される。2章で保育器内部騒音の原因として、スタッフの会話やアラーム音や児の泣き声などの保育器外部音の侵入が挙げられたが、それらの保育器外部音の騒音の主成分である500～5000Hzの周波数帯域に対して効果が現れている。この結果から、狙った周波数帯域の遮音に成功し、覆布によって効率的な遮音が実現されていることが結論付けられる。また、オーバーオール値では45.8dBの騒音レベルが期待され、これは目標の保育器内の推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ の騒音レベルに近い値となった。この結果から保育器内の推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ を満たす時間帯を増やすことができるであろう。

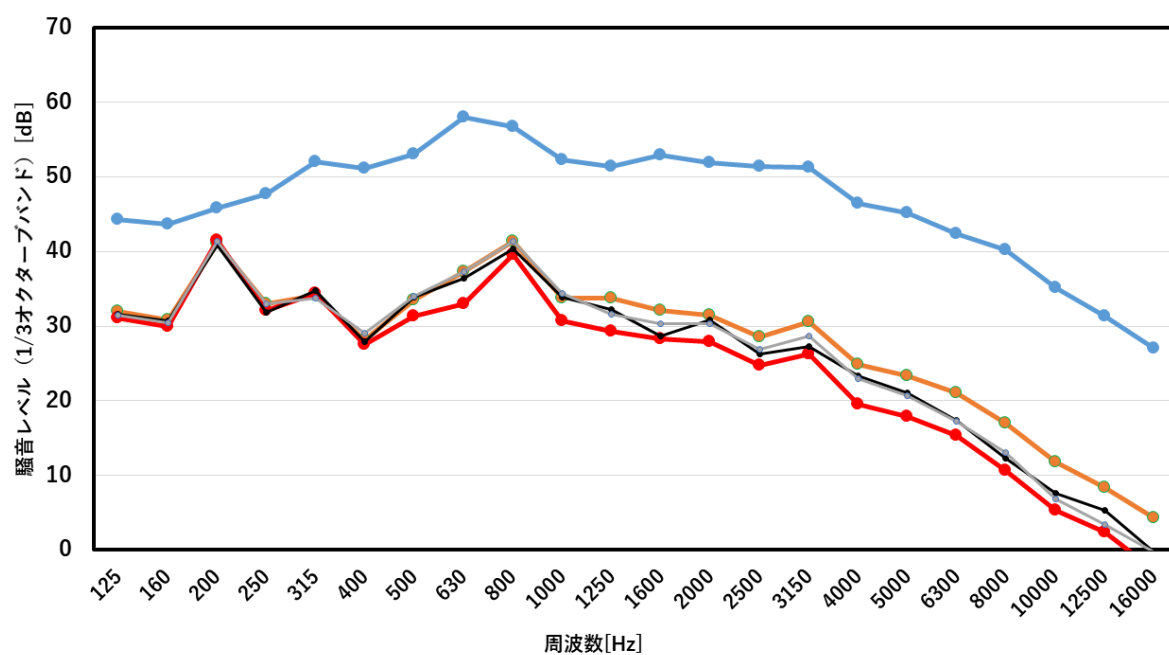


図 5.1: 保育器内騒音のシミュレーション結果（周波数分析）

5.4 まとめ

シミュレーションの結果、既存の覆布を使用すると、800Hz 以上の帯域で遮音効果が見られおよそ 5dB 程度の透過損失が期待される。また、オーバーオール値で 45.8dB の騒音レベルが期待され、これは目標の保育器内の推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ に近い騒音レベルを得ることができた。

第6章 まとめと今後の課題

本論文では保育器内の騒音レベルを推奨値を満たすレベルにすることで、より良い音環境を構築するために以下の3点を研究の目的として設定した。

1. 保育器内での騒音レベルの推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ を満たす時間帯を増やす。(目的1)
2. 既存の覆布を改良して、遮音性能を改善する(目的2)
3. 予想される騒音源の特徴である、高周波領域の騒音の低減(目的3)

これらの研究目的に対して、以下のように結論をまとめる。

1. 環境測定を行った施設において試作した覆布により、推奨値を満たす時間帯を93%から5%増やすことができ、ほぼすべての時間帯において推奨値 $L_{Aeq,1h} = 45\text{dB}$ を満たすことが期待される。
2. 周波数解析では500Hz～5000Hzの帯域でおよそ5dBの遮音効果が見られ、ターゲットとしていた騒音源の大きな音が集中している周波数帯域に対して適切なアプローチで効率的な減音が達成できた。
3. 試作した覆布において L_{Aeq} で2.6dBの遮音効果を上乘せすることができ、目標の L_{Aeq} で3.4dBの遮音効果上乘せという目標に対しておおむね満足する結果を得る事ができた。

なお、今後の課題としては、

- さらに多くの NICU 施設や保育器を対象とした測定
- さらなる覆布材料の検討
- 実際の NICU 環境への導入による現場での評価検討

が挙げられる。

謝辞

本研究の遂行及び本論文作成に際し終始多大なる御指導を賜った野呂雄一教授、本論文をご精読の上有用な御助言を頂いた竹尾隆教授、医学部看護学科 新小田春美教授に心より感謝の意を表します。ならびに測定環境や機材の提供および測定内容の検討にご協力を賜った小西澄代様、松本あさみ様、三重大学附属病院 NICU のスタッフの皆さまに深く感謝の意を表します。また、本研究のために備品の管理や技術指導をして下さった山本好弘技術職員並びに実験の補助をしていただいた院生、学部生諸氏に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] “【医療機器の種類】保育器”, 医機ナビ, http://www.iryokiki-navi.com/what/cat03/p_1446/
- [2] 木原秀樹・上条正義, “NICU（新生児集中治療室）における早産児のストレス評価,” 日本理学療法学会大会, 第 34 号 2 巻, (2007).
- [3] 西谷陽志・下左近多喜男, “NICU 内の騒音環境の現状と改善対策に関する考案”, 日本生産管理学会, 第 14 号 1 巻, pp.61-66 (2007).
- [4] “遮音の目安”, ANZENMALL, https://www.anzen.ne.jp/other/souon_setumei.html.
- [5] Amber L. Williams・Wim van Drongelen・Robert E. Lasky, “Noise in contemporary neonatal intensive care”, Acoustical Society of America, 第 121 号 5 巻, pp.2681-2690 (2007).
- [6] 長谷 諭 他, “保育器に対するフィードフォワード ANC システムに関する検討”, 電子情報通信学会, 第 115 号 522 巻, pp.279-282 (2016).
- [7] 穴井 謙・西森 亜弥・新小田 春美, “保育器の音環境改善のための微細穿孔板の適用 ～保育器内の児の泣き声の特徴把握と複数の微細穿孔板による吸音性能の広帯域化～”, 日本建築学会. 九州支部, 第 55 号, pp.33-36 (2016).
- [8] “遮音の仕組みと遮音材料:防音の基礎知識 3”, Tech Note, <https://www.ipros.jp/technote/basic-soundproof3/>