

【公開版】

令和元年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「睡眠時無呼吸症候群治療用 持続的気道陽圧ユニット（CPAP）の
静音・長寿命・高追従性を実現するフロア・システムの研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-1-1 研究開発の背景	1
1-1-2 研究目的及び目標	1
1-1-3 目的及び目標に対しての実施結果	2
1-2 研究体制	3
1-2-1 研究組織・管理体制	3
1-2-2 研究者・協力者	3
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
1. 独自の騒音対策フロア・システム構造による静音化・快音化課題への対応	8
【1-1】共鳴型消音器での消音課題への対応	8
【1-2】ANC機構での消音課題への対応	12
【1-3】聴覚マスキングによる不快感低減と快音課題への対応	13
2. 長寿命化課題への対応	17
3. 高追従性課題への対応	20
【3-1】ファンの小イナーシャ化課題への対応	20
【3-2】モータのトルク増大課題への対応	23
第3章 全体統括	27
3-1 複数年の研究開発成果	27
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	28

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

モータ事業で培ったものづくり技術を活かして新規医療分野に進出し、医療機器の課題解決を図り地域経済の発展に貢献する。睡眠時無呼吸症候群（SAS）患者による経済損失年間3.5兆円（日本大学 内山教授）や合併症による医療費高騰問題がある。その治療方法で気道に空気を送る持続的気道陽圧ユニット（CPAP）があり それに最適なブロア・システムを事業化し諸問題の解決に貢献する。

1-1-2 研究目的および目標

「目的」

CPAPの心臓部は内蔵ブロアであり、現状の下記課題を解決し日本人に適したCPAP用ブロア・システムを開発して医療機器メーカーに提供する。

「課題」

- 【1】 CPAPは夜間寝室で使用されるので、騒音がうるさいと使用者及び同室他者の安眠が妨げられる。
- 【2】 CPAPの可動部であるブロアの軸受け寿命が短い。
- 【3】 SAS患者は無呼吸状態からCPAPにより急に気道が広がった場合には、瞬時に多量の空気吸入が必要で、CPAPブロアの追従性が悪いと息苦しく不快感を与えてしまう。

「目標」

【1】 静音化

目標値：CPAP本体より距離1 mで騒音値20 dB（A）以下とする

【2】 長寿命化

目標値：2万時間以上の寿命保証

短期間での評価の目標としては軸受けの油膜形成率100%とする

【3】 ブロア回転数の高追従性

目標値：現行他社品ブロアよりも小イナーシャ化（20%以上）を実現する

モータのトルクを増大させる

1-1-3 目的及び目標に対しての実施結果

【1】 静音化

CPAP本体より距離1mで騒音目標値の20dB(A)以下である17.5dB(A)を実現した。騒音値が小さいために、騒音測定はCPAP本体より15cmにて騒音測定を行い、距離1mでの騒音値は換算より算出した。

(15cmでの騒音値は34.0dB(A)のデータが得られた)

【2】 長寿命化

ブローの寿命として支配的な部分は軸受けで、ブローとして長寿命化を保証するために軸受けの良好な潤滑の評価として油膜形成率100%を確認した。

研究終了後もブローの連続運転を継続して寿命2万時間を見極める。

【3】 高追従性（小イナーシャ化）

競合他社品に比べて30%の小イナーシャ化を実現し、目標値である20%以上の小イナーシャ化を実現した。

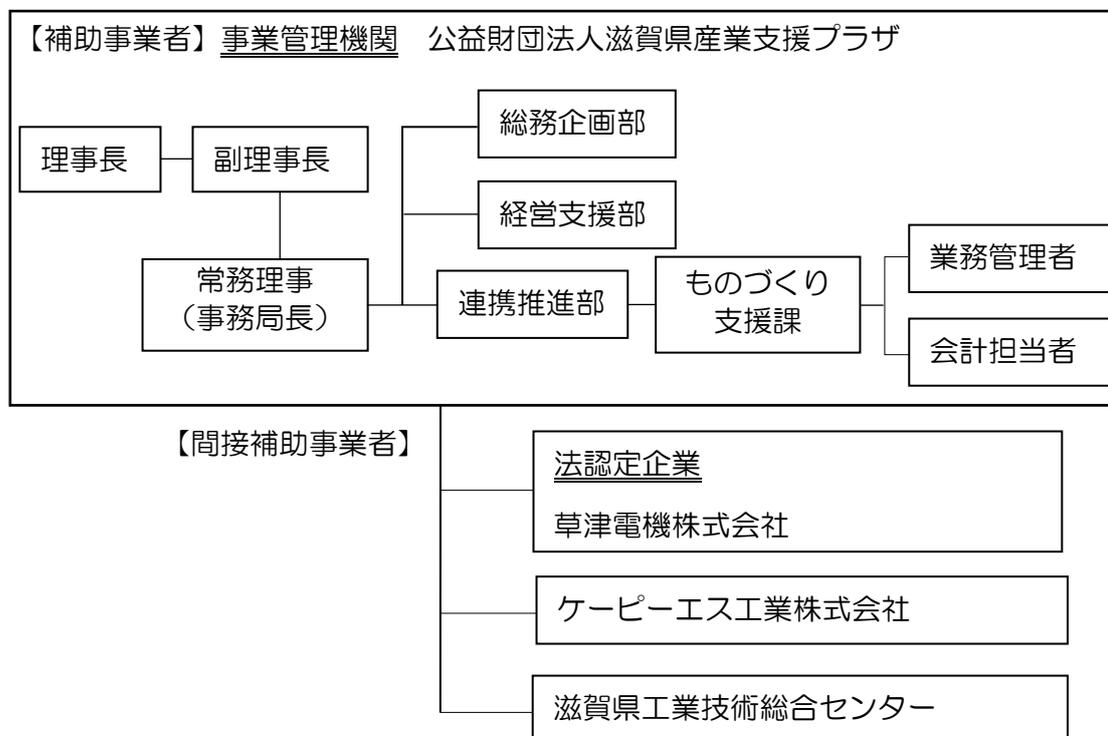
高追従性（モータのトルク増大）

スロット付きステータ仕様の方が、スロットレスステータ仕様よりも同じ電流値の場合に15%大きなトルクが得られることを確認した。

1-2 研究体制

(研究目標・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織・管理体制



総括研究代表者 (PL)
氏名：饗場 徹
所属組織：草津電機株式会社
所属役職：技術担当 常務取締役

副総括研究代表者 (SL)
氏名：平野 真
所属組織：滋賀県工業技術総合センター
所属役職：電子システム係 主任主査

1-2-2 研究者・協力者

① 研究者氏名

【間接補助事業者】草津電機株式会社

氏名	所属部署・役職	実施内容 (担当テーマ)
饗場 徹 (PL)	常務取締役	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【2】 【3-1】 【3-2】
下村 徹	技術部 執行役員 部長	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【2】 【3-1】 【3-2】
伊藤 秋良	技術部 主査	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【2】 【3-1】 【3-2】
村嶋 翔太	技術部 主務	【1-1】 【1-2】 【1-3】 【2】 【3-1】 【3-2】

【公開版】

【間接補助事業者】 ケーピーエス工業株式会社

氏名	所属部署・役職	実施内容（担当テーマ）
只熊 睦	取締役	【3-1】 【3-2】
三代 輝	技術部 部長	【3-1】 【3-2】
野島 健一郎	技術部 開発係 係長	【3-1】 【3-2】

【間接補助事業者】 滋賀県工業技術総合センター

氏名	所属部署・役職	実施内容（担当テーマ）
平野 真（SL）	電子システム係 主任主査	【1-1】 【1-2】 【1-3】
木村 昌彦	電子システム係 主任主査	【1-1】 【1-2】 【1-3】
山本 典央	電子システム係 主査	【1-1】 【1-2】 【1-3】

② 事業管理機関

【間接補助事業者】 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

氏名	所属部署・役職	実施内容
平井 圭介	連携推進部 部長	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務
篠原 弘美	連携推進部 副部長 （兼ものづくり支援課 課長）	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務
船越 英之	連携推進部 ものづくり支援課 副主幹	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務
加藤 芳一	連携推進部 ものづくり支援課 サポイン事業推進 コーディネータスタッフ	プロジェクトの進捗把握・管理、指導業務、間接補助事業先との連絡調整業務

③ 協力者

氏名	所属部署・役職	実施内容
西浦 敬信	立命館大学 情報理工学部 画像・音メディアコース 教授	音情報処理の専門家としてアクティブノイズキャンセラーと聴覚マスキングなど音処理についてのアドバイス
H氏	医療機器メーカー 技術統括者	川下製造業者の医療機器販売製造会社として持続的気道陽圧ユニットの技術的評価方法に関するアドバイス 並びに最新医療機器情報の提供
TH氏	(元大手家電メーカー 研究所)	元大手家電メーカーの研究所で永年騒音とブロー研究開発に携わってこられ、その経験を活かしたアドバイス

1-3 成果概要

【1】 静音化・快音化課題への対応

【1-1】 共鳴型消音器での消音

研究開発する試作ブローの羽根の回転数 N (19900 r/min)と羽根枚数 Z (26枚)に起因する NZ 音 (発生周波数 $8623 \text{ Hz} = 19900 / 60 \times 26$)に対して、消音化を目的に共鳴型消音器 (内径 $\phi 18$ スリット深さ 8.5 mm)を作製した。しかしながら、試作ブローをCPAP本体に組み込み定格運転させたところ NZ 音の発生が無く結果として共鳴型消音器での消音効果の必要性は無く、その効果確認は出来なかった。

共鳴型消音器と同じ消音手法であるPNC手法 (受動騒音制御: Passive Noise Control)を採用し、CPAP本体から距離1m換算で40%騒音値を低減させた。

($35.48 \rightarrow 21.6 \text{ dB (A)}$)。

【1-2】 ANC機構での消音

上記PNC手法で騒音値を低減させた後に、ANC手法 (能動騒音制御: Active Noise Control)の消音機構を試作作製した。CPAP本体からの騒音が最も大きく洩れるCPAPの吸い込み口にその試作したANC消音機構を取り付けて $200 \sim 1 \text{ kHz}$ の周波数域の騒音値を低減させた。その結果、CPAP本体から距離1m換算で20%騒音値を低減させて($21.6 \rightarrow 17.5 \text{ dB (A)}$) 騒音目標値の 20 dB (A) 以下を実現した。

【1-3】 快音化

立命館大学の西浦教授の指導を受けてCPAPからの騒音に対して2種類の快音化の研究

【公開版】

を行った。具体的には、気になる騒音の不快感低減を臨界帯域のみをマスキングするマスキング手法と、騒音のピーク成分を和音の1音として有効活用する協和音手法の和音構造付与に基づく快音化の2種類で研究を行った。

特に、協和音手法ではシェッフェの対比較法による複数のサンプルに順位をつけて評価する評価手法を適用した。原音とANC付加有無、並びに 1/1オクターブ 1/3オクターブ 協和音の大きさ4種類 合計10種類の音源を基に20～60代まで男女10名で快音化の評価を実施したが、気になる音が特に無いために快音化の付与の必要性が無いとの結論に達した。

【2】長寿命化

ブローアの寿命を支配する軸受けに流体動圧軸受けを選定して、ブローアの使用条件を軸受けメーカーに提示して軸受けの型式を決定した。流体動圧軸受けは固定した軸受けと回転するシャフトの間に完全な油膜が形成されることが良好な潤滑状態であり長寿命の裏付けとなる。

油膜形成状態の確認方法としてブローアを運転させた状態で流体動圧軸受けとシャフト間に低電圧を加えて、シャフトと軸受けが接触した場合に短絡電流が流れる評価環境を作製し、評価した。その結果短絡電流が流れず、十分な油膜が形成されたことを確認し長寿命につながるデータが得られた。2万時間の寿命を保証するために研究終了後も耐久試験を継続実施し確認する。

【3】高追従性

【3-1】ファンの小イナーシャ化

主に小イナーシャ化の効果が大きい回転子部の質量の低減に取り組み、競合他社品に比べて30%（他社品 $2.62 \times 10^{-6} \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ →本研究での試作品 $1.84 \times 10^{-6} \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ ）の小イナーシャ化を実現し目標値の20%以上を実現した。

【3-2】モータのトルク増大

スロット付きステータ仕様の方がスロットレスステータ仕様よりも同じ電流値（0.5Arms）の場合に15%大きなトルクが得られることを確認した。

（スロット付き $2.84 \text{mN}\cdot\text{m}$ 、スロットレス $2.47 \text{mN}\cdot\text{m}$ ）。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

連携推進部 ものづくり支援課 参与 山本 博之

〒 520-0806 滋賀県大津市打出浜2番1号 コラボしが21内

電話 077-511-1414 FAX 077-511-1418

E-mail : h-yamamoto@shigaplaza.or.jp

【法認定管理機関】

草津電機株式会社

常務取締役 饗場 徹

〒 525-8501 滋賀県草津市東草津二丁目3番38号

電話 077-563-5115 FAX 077-563-0307

E-mail t-aiba@kusatsu.co.jp

第2章 本論

1. 独自の騒音対策ブロー・システム構造による静音化・快音化課題への対応

【1-1】共鳴型消音器での消音課題への対応

試作作製したブローの回転数と羽根枚数によるNZ音を算出して、それを基に共鳴型消音器の研究を行った。

同時に共鳴型消音器と同じ消音手法のPNC手法でCPAP騒音の低減研究を行った。

試作作製したブローの仕様は以下の表に示しNZ音を算出した（表1）。

表1 羽根枚数と回転数に起因するNZ音計算

ブロー	羽根枚数	回転数	NZ音（計算値）
試作ブロー	26	1.99万 r/min	8623Hz

参考）以下の計算式で得られる周波数でブローのNZ音が発生する。

$$\begin{aligned}
 \text{NZ音の周波数} &= \text{回転数 (r/min)} \div 60 \times \text{羽根枚数} \\
 &= 19900 \div 60 \times 26 \\
 &= 8623 \text{ (Hz)}
 \end{aligned}$$

NZ音を消音する共鳴型消音器について、本研究のアドバイザーであるTH氏より下記アドバイスを頂いた。

共鳴型消音器のスリット深さは、サイドブランチ式と類似とすれば一般的には対象とする騒音の1/4波長に設計すればよいが、TH氏のアドバイスでは下記実験資料によりディスク型では1/(4.5~4.6)波長にした方が実験値により近くなる（図1）。

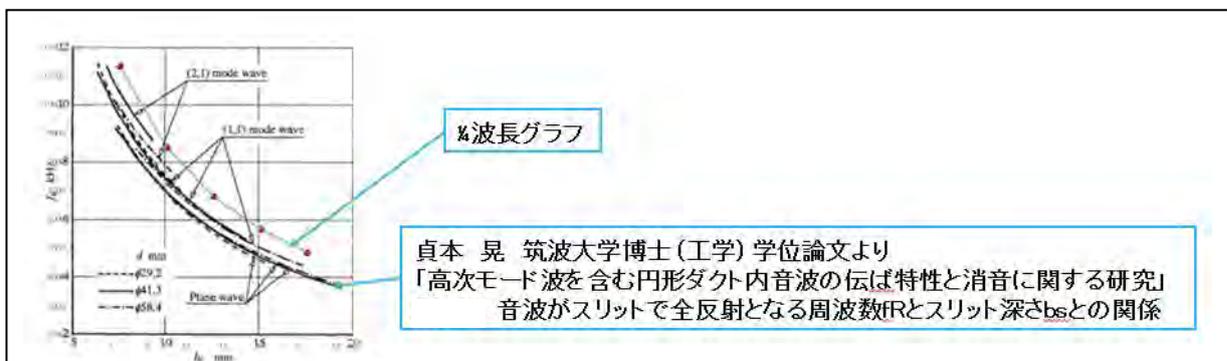


図1 ディスク型消音のスリット深さ

【公開版】

音速を330m/s として8623Hz音を 1/4. 5波長を用いると

ディスクのスリット深さ=330÷8623×1/4. 5

=0. 0085 (m)

=8. 5 (mm)

スリット深さ8. 5mmを基準に共鳴型消音器を下記の通り設計（図2）して 試作品（図3）を作製した。

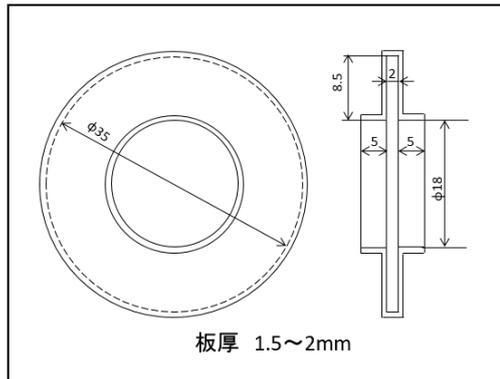


図2 共鳴型消音器の設計図



図3 共鳴型消音器の試作品

下図は試作作製したブローをCPAP本体に組み込んだ状態で（図4）、CPAP吸込み口がある側面からの騒音値が一番大きく、その方向の騒音値を距離1m換算で20dB（A）以下を静音化の目標値とした。

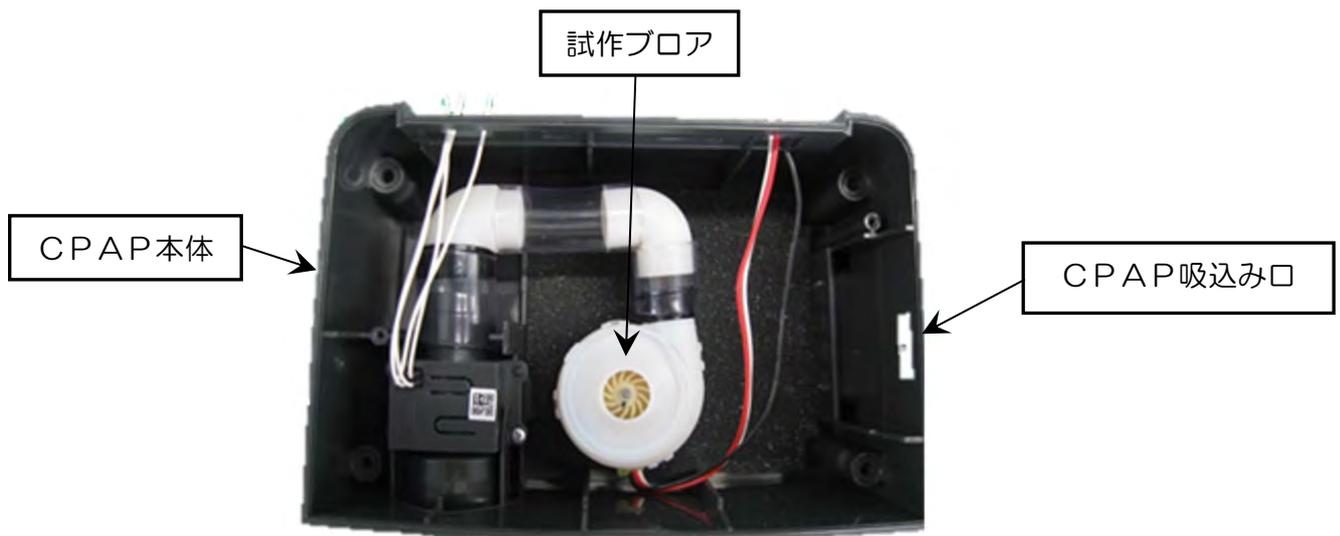


図4 CPAPへの試作ブロー組み込み状況

NZ音（周波数8623Hz）発生無し

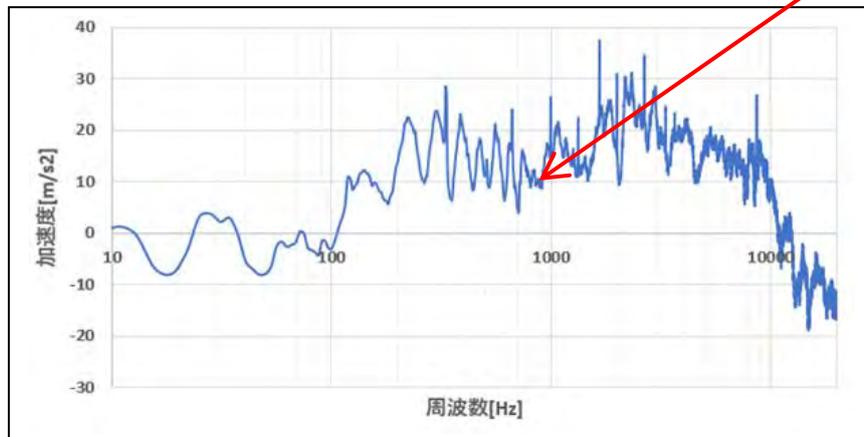


図5 試作プロア組み込み時のCPAP騒音周波数分析結果

上図（図5）がCPAP右側からの騒音周波数分析結果で試作プロアによるNZ音（周波数8623Hz）は発生せず、NZ音対策のために試作作製した共鳴型消音器の必要性が無くなった。

次に共鳴型消音器と同じ消音手法のPNCを用いて低騒音化を検討した（図6）。

CPAP筐体内面壁面に、吸音消音効果があるフェルト材、シンサレート材を貼付け、CPAP筐体の壁面を通して漏れる試作プロアの騒音の低減を図った。同時にCPAP吸気口と試作プロア間にフェルトで遮蔽し試作プロア音の直接吸気口からの漏れを防いだ。また、試作プロア排気口からCPAPの排気口につながる配管部に発泡ゴムを用いて試作プロアから伝わる振動の低減効果を図った。



図6 PNCでの静音化対策

また同時に、新たに導入したフィールドバランス測定器を使用して回転部分のプロア完成品でアンバランス修正を行い、プロアの回転精度の向上を実現した（図7）。

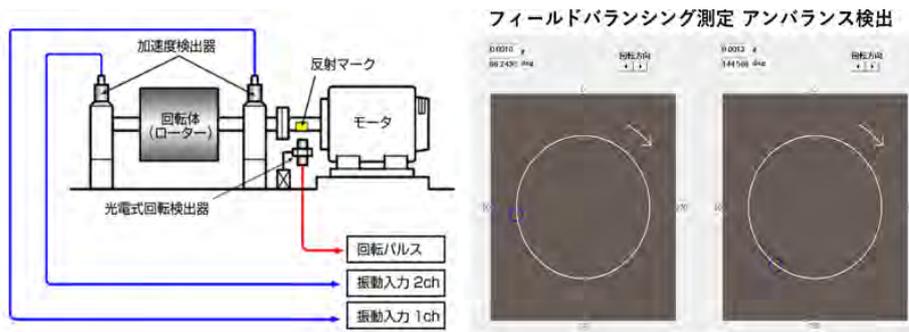


図7 試作ブロアのアンバランス調整

両方のPNC処理により、高域の周波数帯にて消音効果確認ができ、騒音値は21.6 dB(A)までの騒音低減効果を実現出来た(表2)。

表2 PNCでの静音化効果

	騒音値 (測定距離 15 cm)	騒音値 (測定距離 1 m換算)
PNC処理前	52.0 dB (A)	35.5 dB (A)
PNC処理後	38.1 dB (A)	21.6 dB (A)

PNC処理後の騒音周波数分析データを図8に示す。

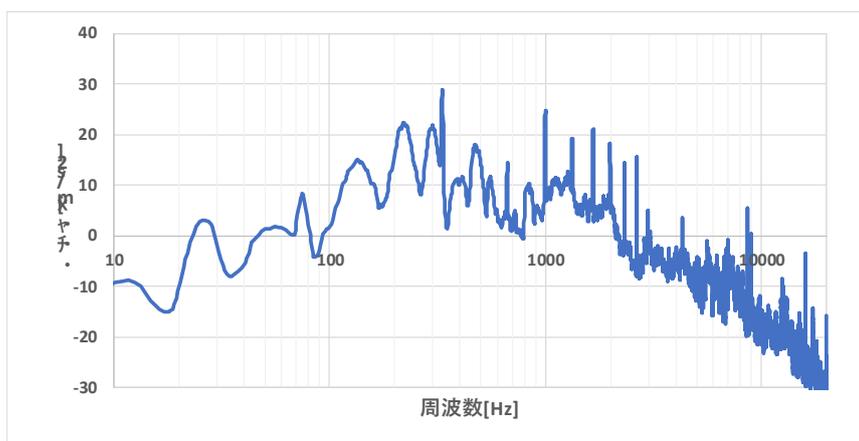
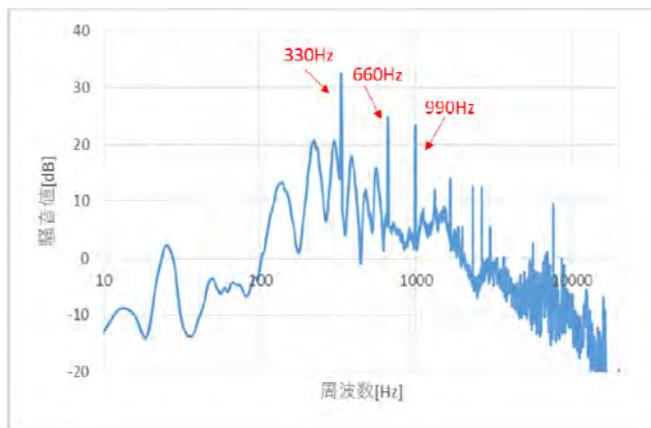


図8 PNC処理後のCPAP騒音周波数分析結果

【1-2】ANC機構での消音課題への対応

2年目に「他社製プロア等組込みCPAP」の消音時、回転数に起因する騒音値に音のピーク値が残ることを研究で確認し、そのピーク値をANCにて低減することによる騒音値の低減効果を確認した。

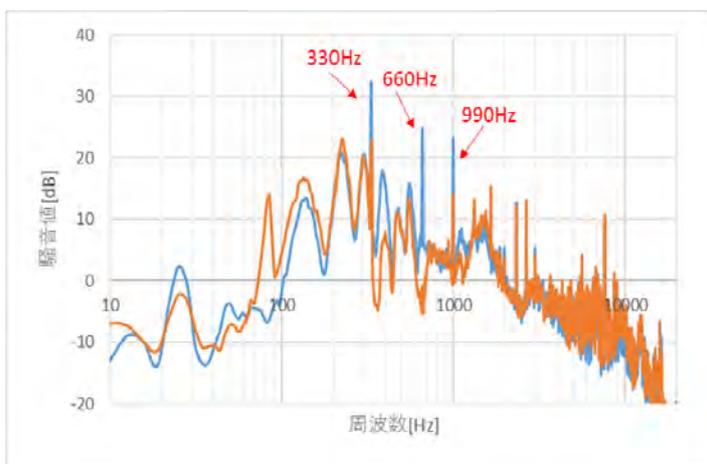
具体的には、最終年度に「試作プロア組込みCPAP」の測定時に発生する回転数に起因する騒音値、330、660、990Hzに対してANC処理を行うことで、現状21.6 dB(A)に対して、目標値である20 dB(A)以下までの低減を試みた。



PNC処理後 (ANC OFF)	
測定距離	騒音値レベル
15 cm	: 38.1 dBA
100 cm	: 21.6 dBA

図9 PNC処理前のCPAP騒音周波数分析結果

しかし、「試作プロア組込みCPAP」測定時の回転数に起因する騒音値、330、660、990Hzに対してANC処理を実施したところ、現状騒音値21.6 dB(A)に対して19.3 dB(A)と-2.3 dB(A)の効果しか確認できず、目標値である20 dB(A)以下まで十分余裕がある静音効果までは得られなかった(図10)。



ANC OFF	
測定距離	騒音値レベル
15 cm	: 38.1 dBA
100 cm	: 21.6 dBA

↓ -2.3 dB

ANC ON	
測定距離	騒音値レベル
15 cm	: 35.8 dBA
100 cm	: 19.3 dBA

図10 回転数に起因する周波数のみANCで静音化した結果の騒音周波数分析結果

【公開版】

したがって、回転数に起因する特定の騒音値のみを低減させるのではなく、騒音値に大きく影響している幅広い帯域に対してANC処理を行い騒音値の低減を行った。解析により200～500Hz付近にかけて騒音値の比重が最も大きいことが確認でき、その範囲に対してANC処理を行った。その結果、ANC処理にて約-3.1 dB (A) の効果が確認でき、追加でPNC処理を行った結果と合わせて当初の目標値である17.5 dB(A)までの消音効果が確認できた(図11)。

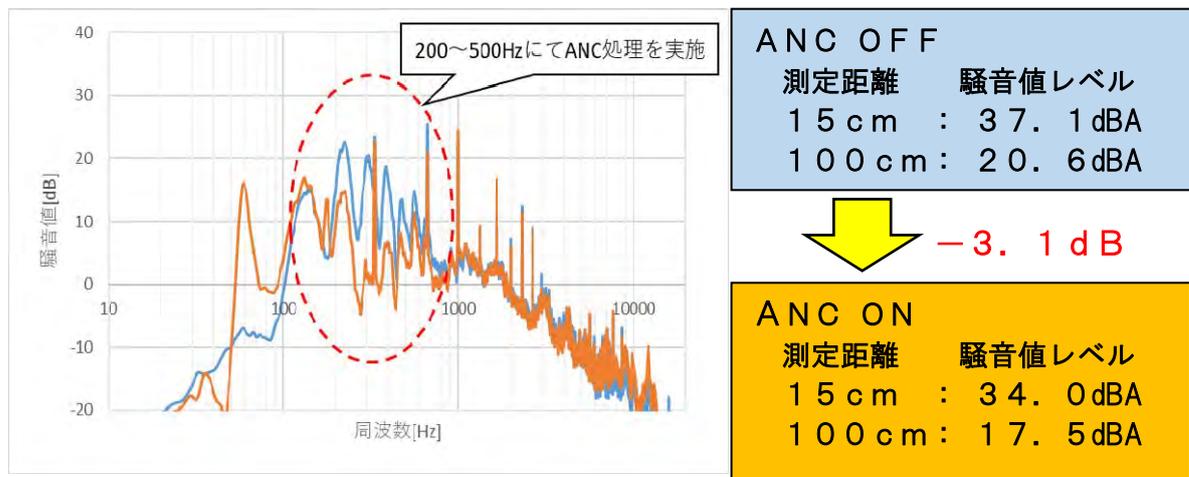


図11 周波数200～500Hz域をANCで消音化させた騒音周波数分析結果

【1-3】聴覚マスキングによる不快感低減と快音課題への対応

立命館大学西浦教授のアドバイスを基に作製した快音化音源を用いて、不快感低減の評価を行った。

快音化の評価として、シェッフェの対比較による評価手法を適用した。対比較法は評価をする者にとって判断が易しく、信頼性が高いことで知られている手法である。評価は聴感実験を行い、PCのヘッドホンから流れる試聴用音源を聞き、ソフトウェア画面の操作でアンケート調査を実施するものである。試聴用音源は表3に示す10種類とした。

表3 一対比較で用いた音源

音源の番号	音源の種類
1	ANC OFF
2	ANC ON
3	ANC ON + 1/1 オクターブ(+2dB)
4	ANC ON + 1/1 オクターブ(-3dB)
5	ANC ON + 1/1 オクターブ(-9dB)
6	ANC ON + 1/1 オクターブ(-15dB)
7	ANC ON + 1/3 オクターブ(+2dB)
8	ANC ON + 1/3 オクターブ(-3dB)
9	ANC ON + 1/3 オクターブ(-9dB)
10	ANC ON + 1/3 オクターブ(-15dB)

滋賀県工業技術総合センターの測定室（暗騒音 27dBA 以下）で行った主観評価実験の様子を図12に示す。ヘッドホンから流れる試聴用音源はCPAP本体から15cmの距離を離れた状態で聞いた場合と同じレベルに調整した。



図12 主観評価実験の様子

図13に主観評価実験で使用するために作成したソフトウェアの画面を示す。再生ボタンを押すと、2種類の音がヘッドホンから連続して流れ、前の音に比べて後の音がどの程度気になるか、あるいは気にならないかを判断し、点数付けをする仕組みである。

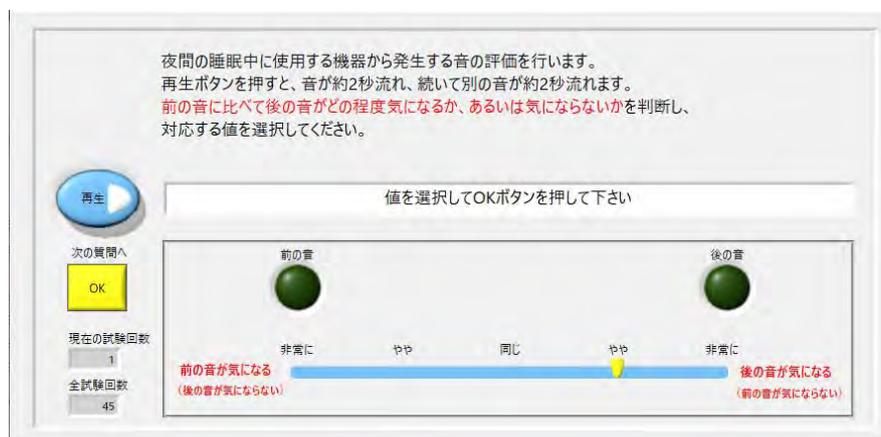


図13 主観評価実験用ソフトウェア画面

【公開版】

10種類の音源を比較するため、1人につき合計45回（約10分）の試験を実施した。評価者は20代から60代の男女合計10名で、全員に対して同様の試験を行った。結果を図14に示す。

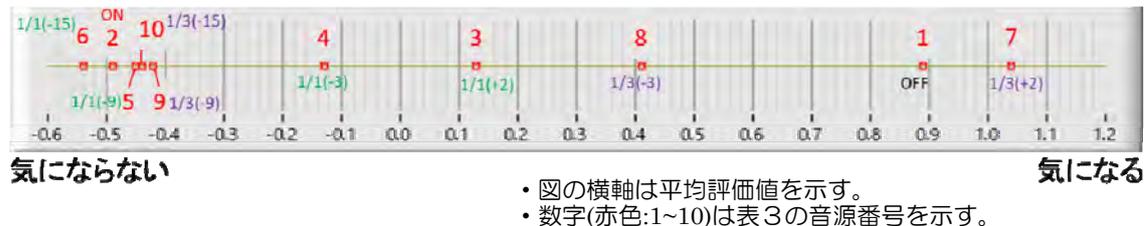


図14 一対比較の実験結果

まずANC ONの音②に対してANC OFFの音①は、より気になることがわかる。全体の傾向としては、ANC ON+1/1 オクターブ(-15dB⑥、-9dB⑤)、ANC ON+1/3 オクターブ(-15dB⑩、-9dB⑨)およびANC ONの音②は、「気になる」「気にならない」の差があまりみられない。1/3 オクターブの音⑦⑧⑨に注目すると、ANC ON+1/3 オクターブの音は、快音化レベルが-15dB⑩、-9dB⑨、-3dB⑧、+2dB⑦と上がるに従って、より気になることがわかる。特に、ANC OFFの音①に対して、より気になるのはANC ON+1/3 オクターブ(+2dB)の音⑦のみである。1/1 オクターブの音③④⑤⑥に注目すると、ANC ON+1/1 オクターブの音は、快音化レベルが-15dB⑥、-9dB⑤、-3dB④、+2dB③と上がるに従って、より気になることがわかる。特に、ANC ONの音に対して、より気にならないのはANC ON+1/1 オクターブ(-15dB)の音⑥のみである。1/3 オクターブの音⑦⑧⑨と1/1 オクターブの音③④⑤⑥を比較するとANC ON+1/1 オクターブの音⑦⑧⑨に対して、同じ快音化レベルのANC ON+1/3 オクターブの音③④⑤⑥は、より気になることがわかる。

次に、上述の結果をさらに詳細に分析するため、比較的差が少なかった表4に示す5種類の音源に対して追加実験を行った。1人につき合計10回（約3分）の試験を実施した。評価者は20代から60代の男女合計10名で、全員に対して同様の試験を行った。結果を表5および図15に示す。

表4 追加の対比較で用いた音源

音源の番号	音源の種類
1	ANC ON
2	ANC ON + 1/1 オクターブ(-9dB)
3	ANC ON + 1/1 オクターブ(-15dB)
4	ANC ON + 1/3 オクターブ(-9dB)
5	ANC ON + 1/3 オクターブ(-15dB)

表5 追加の対比較の平均評価値

音源の番号	平均評価値
1	-0.16
2	-0.06
3	0.24
4	-0.02
5	0

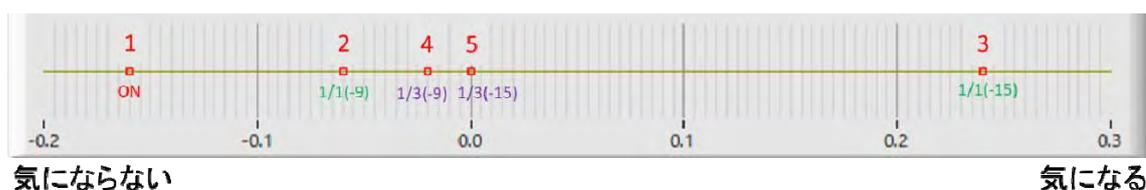


図15 追加の対比較の実験結果

有意差を確認するために、ヤードスティックの計算を行ったところ、表6のようになった。これにより、表5の各音源の平均評価値の差の絶対値を表6のヤードスティックの値と比較して、どれ位の危険率で各音源に有意差があるかを確認した結果、音源1と音源3については、平均評価値間の距離が0.40となり危険率10%のヤードスティック0.382よりも小さいため、危険率10%で音源1に有意差があるといえるが、その他の組み合わせについては、危険率1%、5%、10%のいずれにおいても有意差がなかった。

表6 ヤードスティック

危険率	ヤードスティック
1%	0.519
5%	0.427
10%	0.382

以上の結果より、CPAP音において、気になる音が特にないため快音化の処理を敢えて付加する必要はないことが示された。

2. 長寿命化課題への対応

【流体動圧軸受けを採用して独自のブロア構造】
 長寿命化についてはその目的の為にブロアの流体動圧軸受けを選定し試作品を入手して試作ブロアに組み立てを行った（図16）。

動圧軸受けの寿命耐久試験の方法として、回転状態においてシャフトと動圧軸受け間の機械的接触による摩耗が最も寿命に影響する。したがって、回転状態でのシャフトと動圧軸受け間の油膜形成状態を評価することで寿命耐久性の確認を行った。

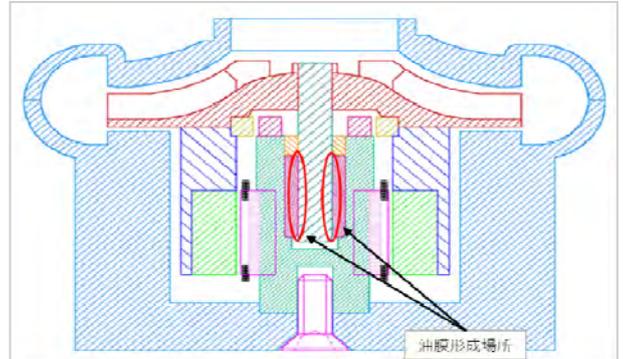


図16 流体動圧軸受け組み込み状態

シャフトと動圧軸受け間の油膜形成状態の確認方法としては、図17のようにシャフトと動圧軸受けが機械的に接触した際に短絡状態、非接触時は絶縁状態が検出できるように評価環境を設定した。動圧軸受けを支えているハウジング部には導電性を持たせるためアルミニウムを使用している。

シャフトと動圧軸受けの間に油膜が形成されるとシャフトと動圧軸受けが絶縁され、 A と V の値は、「 $A=0A$ 、 $V=1V$ 」となる。一方、油膜が形成されずにシャフトと動圧軸受けが接触すると短絡状態となり「 $A=0.1A$ 、 $V=0V$ 」となる。

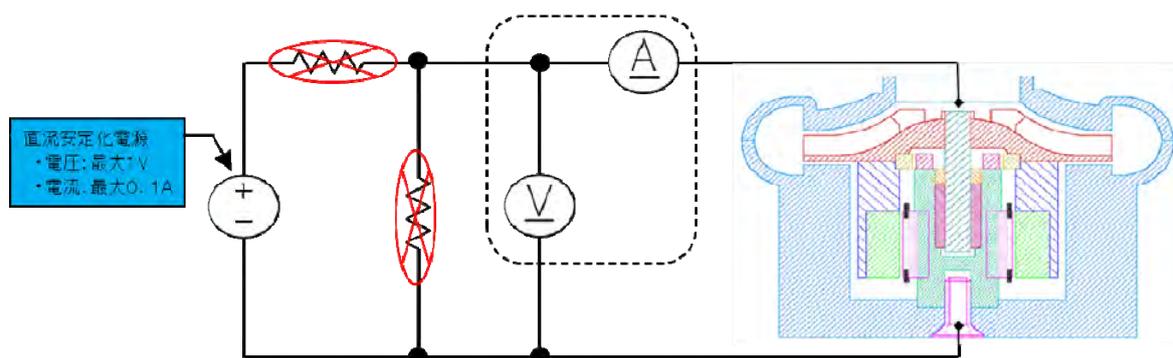


図17 油膜形成状態の確認方法

絶縁・短絡状態時の電圧・電流値の測定には最終年度に導入したスコープコーダを用いた。また、停止状態から一定回転状態まで動作させて停止状態までを記録し、油膜の形成状態

流体動圧軸受け 耐荷重試験

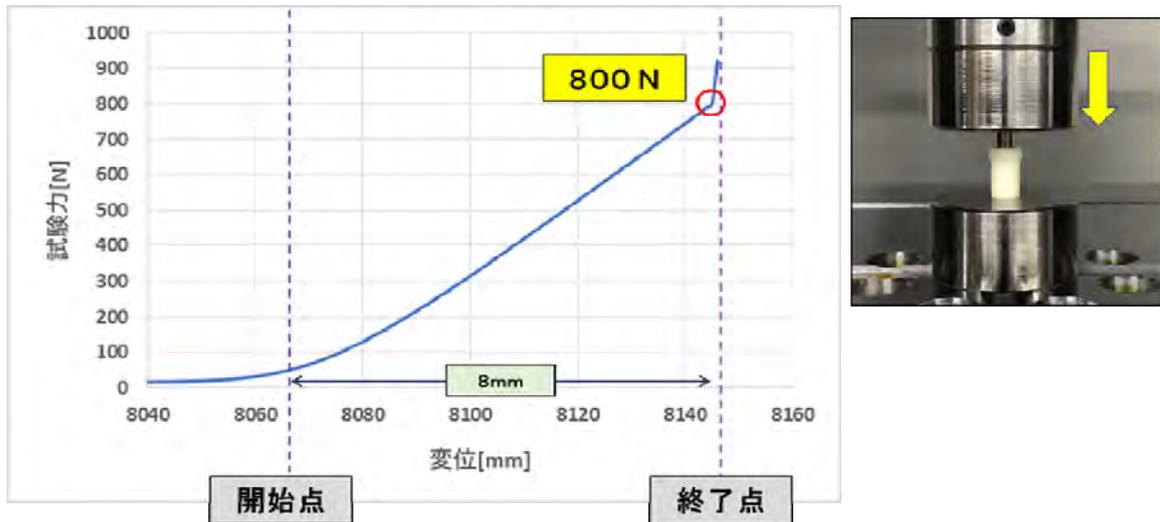


図19 流体動圧軸受けの耐荷重試験

更に、最終年度に導入した振動試験装置にて試作プロアの耐振動評価を実施した。

加振条件は他社製プロア搭載CPAPの振動数：0.165m/s²を1.5倍した0.248m/s²にて行った。

また、振動負荷時間は、水平方向、垂直方向それぞれ250時間の計500時間行い、試験後に目視と性能測定を行い、異常がないか確認した（図20）。

試作プロア 振動負荷試験

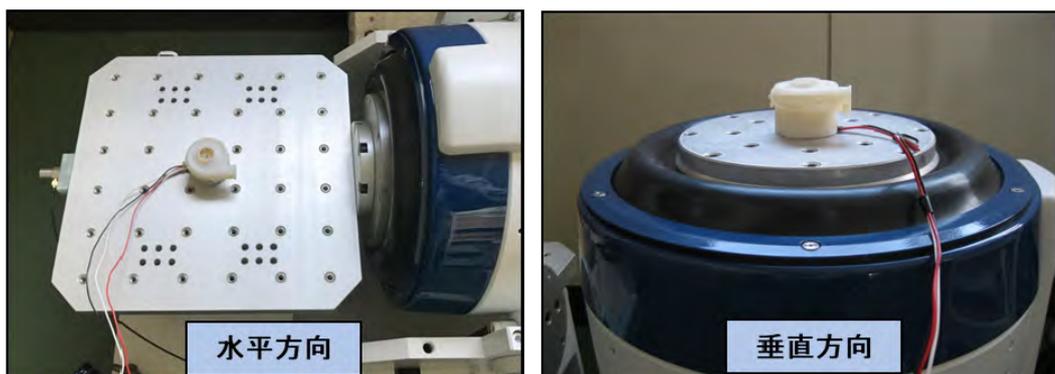


図20 試作プロアの振動評価試験

500時間の振動負荷試験後、目視による評価では外観、固定子部、回転子部に、割れや変形等の異常は確認できなかった。

騒音振動測定においても、振動負荷試験前と同様に異常は確認できなかった。

3. 高追従性課題への対応

【3-1】ファンの小イナーシャ化課題への対応

試作したファン、ロータ・マグネット、バックヨークなどを用いてプロア試作品を作製し、イナーシャ算出に必要な基礎データの計測を行った。

図 21 が作製した試作プロアの回転子部である。回転子部の質量はイナーシャに大きく影響しており、他社製プロアは回転子部に多くのアルミ材等を使用しているのに対して、今回試作を行ったプロアは主にABS樹脂材を使用することで、回転子部の軽量化を行った。

また、他社製プロアは構造上軸受けが回転子部についているため、回転子の質量も大きくなるが、本試作品は軸受けが固定子部についているため軽量化が実現できた。

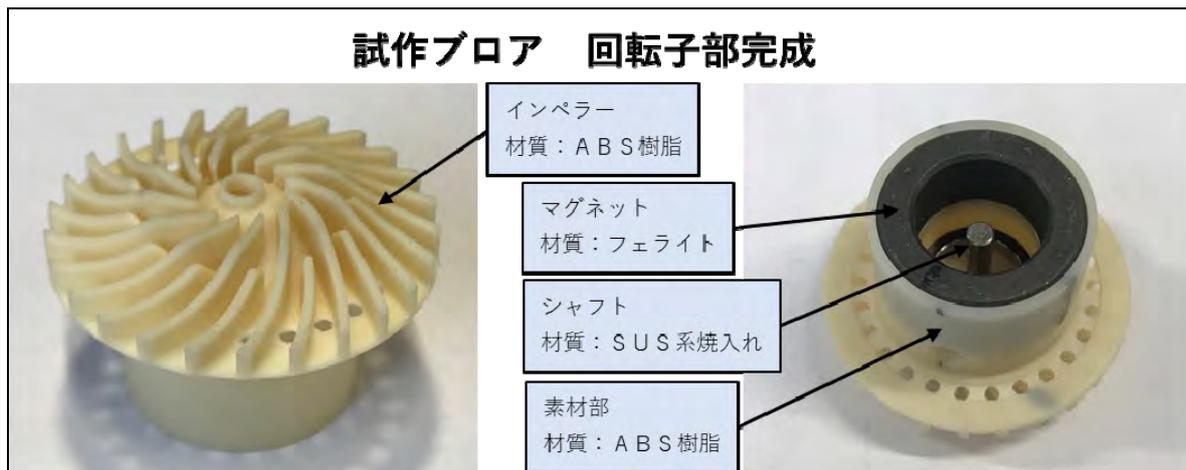


図21 試作プロアの回転子部完成

回転子部の質量は他社製が26.79g、試作品が18.77gとなっており、他社製に比べて試作品は約30%の軽量化となっている。

今回試作を行ったプロアはスロット付きステータタイプとスロットレスステータタイプの2種類が存在する。それぞれに対して算出に必要な基礎データを計測し評価を行った。

イナーシャ算出の際に使用する公式は下記の通りである。

$$\text{イナーシャ} = \frac{\text{トルク} \text{ [N}\cdot\text{m]}}{\text{角加速度} \text{ [rad/s}^2\text{]}}$$

[kgf·m²]

角加速度の測定精度を合わせるため、競合他社品と試作品ともに光センサの反応を6パルスで1回転に設定し角加速度の測定を行った。

角加速度の競合他社品の測定グラフを図22、試作品の測定グラフを図23に示す。

試験条件

最大回転数である 20,000rpm

流量 開放流量(120L/min)

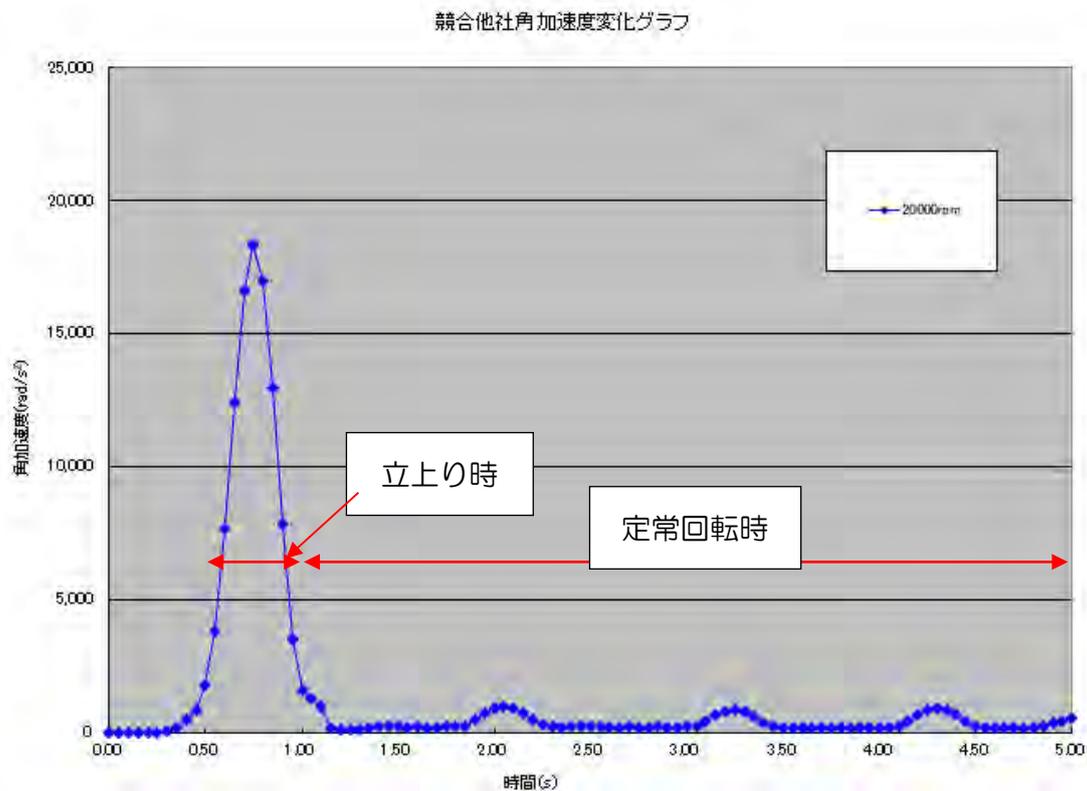


図22 競合他社品の角加速度測定グラフ

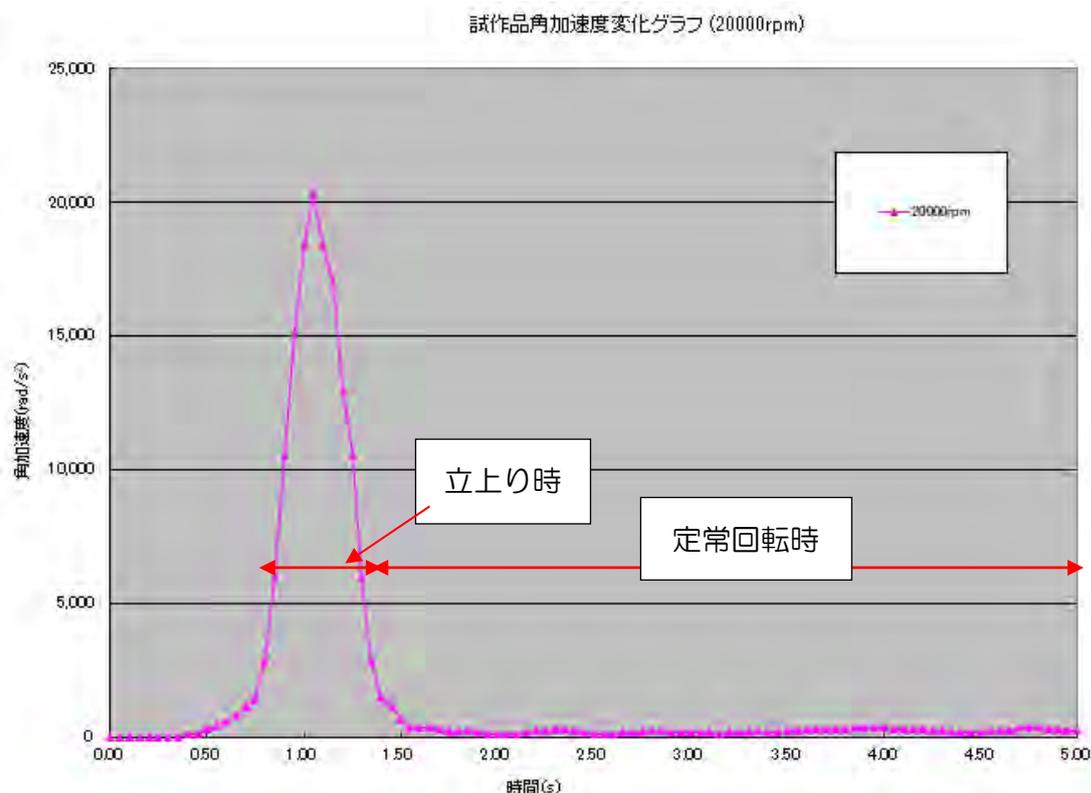


図 2.3 試作品の角加速度測定グラフ

角加速度の値が大きく、かつ負荷が最大であるブローアの立ち上がり時に着目しその時の角加速度とモータトルク値を数式に代入することによりイナーシャを算出した結果を表 7 に示す。

表 7 競合他社品と試作品の角加速度、トルク、イナーシャ算出結果一覧

	競合他社品	試作品
角加速度	18,346rad/s ²	20,335rad/s ²
モータトルク	48.06mNm	37.37mNm
イナーシャ算出値	2.62x10 ⁻⁶ kg・m ²	1.84x10 ⁻⁶ kg・m ²

条件 0→20,000rpm

以上の評価結果より下記内容を確認した。

- ・試作品は競合他社品に対して30%のイナーシャ低減が出来た。
- ・競合他社品の角加速度測定グラフで定常運転時に1秒周期ごとに変化がみられるのは、回転数維持のフィードバック制御が働いているものと考えられる。

- ・イナーシャが低減できた要因の一つとして回転体の質量低減が考えられる。

競合他社品 26.79g 試作品 18.77g

【3-2】モータのトルク増大課題への対応

スロット付きステータ、スロットレスステータの2種類（図24）を使用してブロー完成品を試作（図25）して評価を実施した。

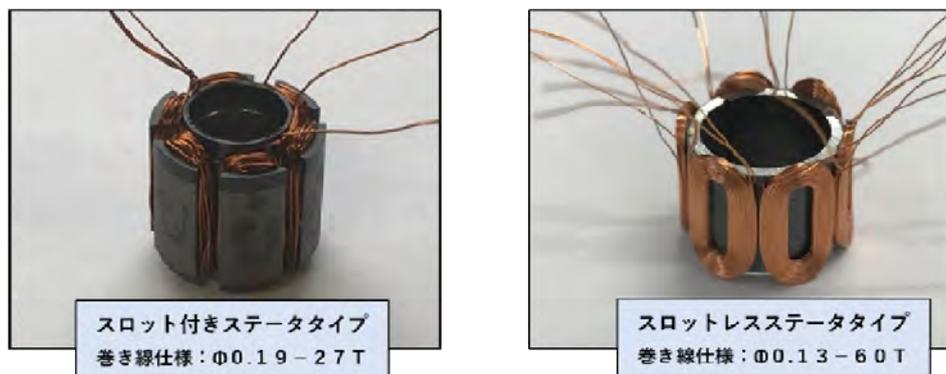


図24 2種類のステータ形状

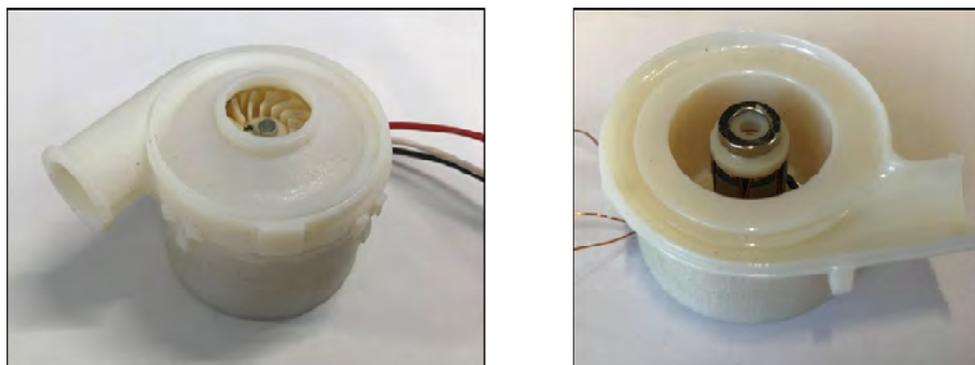


図25 試作ブロー

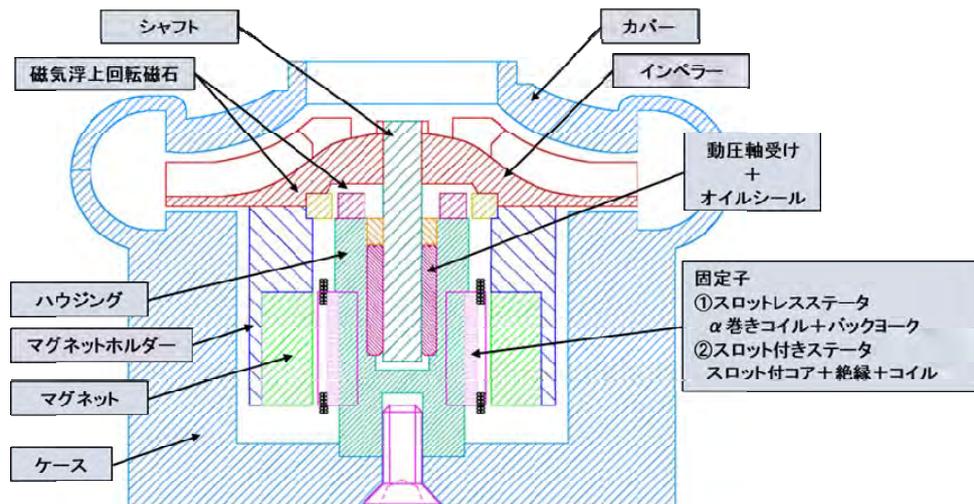


図26 試作ブロー構造

今回試作を行ったスロット付きステータ、スロットレスステータタイプブローは、一般的には表 8 のような特徴があり、実際に試作ブローの性能測定と評価を行い、各々の特徴（優位性）の確認ができた。

表8 試作ブロー 特徴比較

ブロータイプ	特徴
スロット付きステータタイプ	・発生トルク大 → 高追従性
スロットレスステータタイプ	・静音性に優れる ・振動が少ない → 静音性

試作ブローのトルク測定の結果は表9のとおりとなっており、スロット付きステータタイプの発生トルクが約15%大きいことが確認できた。

結果、スロット付きステータタイプの方が高追従性においては有利であることが確認できた。

表9 試作ブロー 発生トルク比較

ブロータイプ	発生トルク
スロット付きステータタイプ	2.84 mNm
スロットレスステータタイプ	2.47 mNm

モータコイルに流れる電流が0.5 A r m s 時の発生トルクを比較

(駆動回路は草津電機製)

【公開版】

スロット付きステータ、スロットレスステータタイプブローについてそれぞれ騒音測定を行った結果、スロットレスステータタイプブローの方が1.4 dB低くなっており、静音性に優れていることが確認できた（図27）。

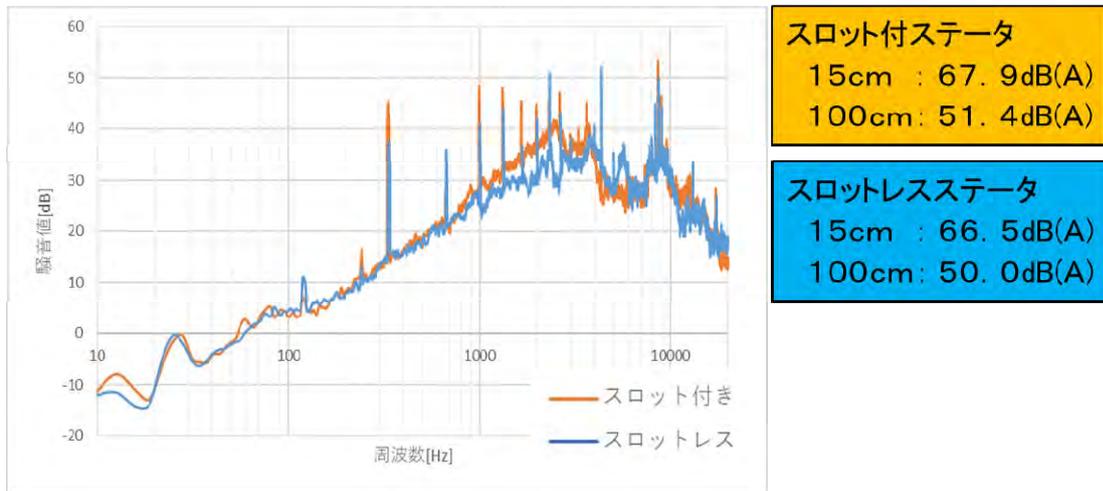


図27 騒音値データ ステータタイプ比較

スロット付きステータの方がスロットレスステータよりもブロー単体では1.4 dB (A) 騒音値が高いが発生トルクは表 9 で示した通りの結果となっており、スロット付きステータタイプの方が優れていることを確認した。

またブロー単体で温度上昇試験を実施した。

評価試験条件として使用上最大負荷条件（静圧0の開放状態）となる試験を行った。

回転数：20,000 r p m

風量：開放状態（120L/min 程度）

試験結果（飽和時の温度上昇値）を表10に示す。

表10 温度上昇試験結果

モータ種類	スロット付タイプ	スロットレスタイプ
初期温度	25.0℃	19.4℃
温度上昇値	24.37℃	73.87℃
巻線温度	49.37℃	93.27℃

巻線温度規格115℃以下

モータ巻線の飽和温度までの温度変化グラフを図28に示す。

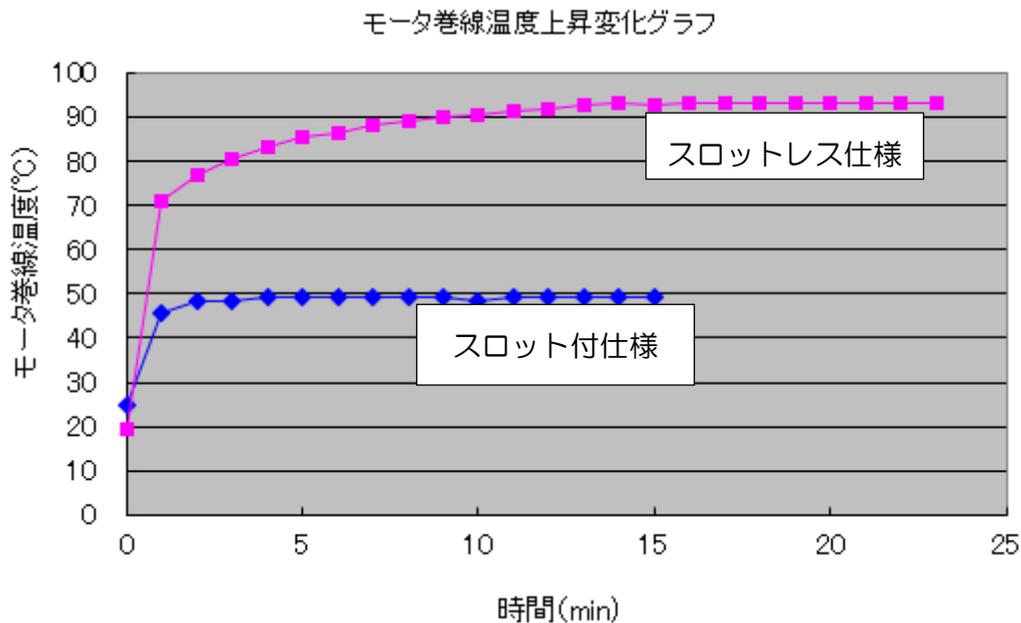


図28 温度上昇試験結果グラフ

- 巻線の温度上昇値はスロットレス仕様では94℃程度まで上昇しスロット付き仕様に比べ44Kの差が有る。
- 巻線温度が飽和するまでの時間は、スロット付き仕様の場合11分～15分で飽和し、スロットレス仕様では18分から23分で飽和する。

以上の結果よりスロット付きステータの方が温度上昇値が低く、効率が良いことが分かった。

CPAP 組込み時の騒音に関しては、追従性のより良い高トルクのスロット付きステータを採用して測定し、PNCとANCで騒音目標値(20dB(A))以下の17.5dB(A)の低騒音化を実現した(【1-2】の図11より)。

第3章 全体統括

3-1 複数年の研究開発成果

複数年（3年間）で研究開発を行い、下記の成果を得た。

- ・初年度はCPAPの現行品の騒音解析を滋賀県工業技術総合センターの無響室・音響解析システムを活用して行った。その結果、CPAP本体吸気口及び、外部メディア接続部から騒音が洩れていることを確認した。外部メディア接続部はPNC手法（遮音テープ貼付）で吸気口からの洩れる騒音は外部にANC消音機構で低騒音化を研究開発で実施する方針を決定した。ANC機構の構想は研究メンバーで決定して、その試作作製委託先2社とアドバイザーを交えて打合せて委託先を決定した。

- ・2年目はCPAP現行品（現行他社製ブロア内蔵）で本体吸気口にスケルトンのANC機構（マイク、スピーカ内蔵）を取り付けてANC消音効果を確認した。その結果、距離1m換算で21.4dB(A)の騒音がANC機構により17.2dB(A)の騒音値まで低下して目標騒音値20dB(A)以下を達成した。

また、競合他社製ブロアを入手するとともに、ブロア試作用に流体動圧軸受けなど部品を入手した。

- ・最終年度は試作ブロアを完成させ、CPAP本体に組み込んでPNC手法とANC手法で距離1m換算にて17.5dB(A)の騒音値まで静音化して、目標の20dB(A)以下を達成した。同時に、不快感低減の目的に協和音による快音化をシェッフェの一対比較による評価を行ったが、CPAP音において気になる音が特にないため、快音化の処理を敢えて付加する必要はないことが示された。

また、長寿命を目的に採用した流体動圧軸受けに関しては、寿命に寄与する油膜形成の良好な状態を確認した。

最後にブロアの高追従性に対して、ファンの小イナーシャ化は競合他社に比べて30%のイナーシャ低減を実現した。同時に発生トルク増大に関しては、スロット付きステータの方がスロットレスステータよりも15%大きく、効率が良いことを確認し 他社よりも高追従性が期待できる成果を得た。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

研究開発の終盤にブローアの耐久試験を開始したが、未だ1,500時間しか経過しておらず事業化には川下企業の要求寿命20,000時間を担保する必要がある。

今後、信頼性が高い寿命加速試験方法を見出して短期間での寿命評価を完了すると同時に、製品化を見据えた部品加工金型を作製して、その部材料で作製したブローアで最終的な寿命評価を行う必要がある。

その後、川下企業へ評価用にブローア試作品を提出し、事業化展開に向けた取り組みを行う。

以上