

## 革新的低騒音化技術を求めて

西村 正治

鳥取大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻

Searching for Innovative Quieting Techniques

Masaharu NISHIMURA

Department of Mechanical and Aerospace Engineering,

Graduate School of Engineering, Tottori University,

Tottori, 680-8552 Japan

E-mail: mnishimura@mech.tottori-u.ac.jp

**Abstract:** The author has been researching and developing noise control techniques for 30 years in a company and for 11 years in an university. In the company period, the author had experienced various kinds of noise problems and had been involved in many projects to develop quiet machines. In the university period, the author has been researching and developing innovative quieting techniques, and has made effort to transfer these techniques to companies. In this paper, these experiences are summarized and typical noise reducing techniques are presented.

**Key Words:** Innovative quieting techniques, Machinery noise, Aeroacoustics, Active noise control, Duct noise

### 1. プロローグ

私が‘音の世界’に足を踏み入れることになったのは上司の次の一言がきっかけであった。「これから日本も産業が活発になり、環境問題、騒音問題が重要になってくる。西村君も騒音グループに入って活動してくれ。」1972年に、京都大学大学院工学研究科航空工学専攻修士課程を修了し、三菱重工業（株）に入社、神戸研究所（現、高砂研究所）に配属されて2年目のことである。大学の修士課程では、‘衝撃波背後のアルゴンガスの電離緩和過程’に関する研究<sup>[1]</sup>を行い、企業ではガスダイナミックレーザの研究開発に携わりたいと思っていた私には、まったくの寝耳に水の話で、当時は相当反発したものである。dBのなんたるかも理解していない全くのゼロからのスタートであったが、やるからには楽しくやりたい、その為には自分なりのアイデアと工夫で取り組みたい、と思ってやっているうちにいつの間にか40年が経ち、男子一生の仕事になってしまった。人生とは不思議なものである。以下これまでの仕事を振り返ってみたい。

### 2. 企業での製品開発とトラブル対応

三菱重工業（株）は700の製品を扱っていると言われている。私は研究所に所属していたため、幸いなことに、‘騒音対策、低騒音化’という技術をベースに、ありとあらゆる製品に関係する機会を得ることができた。表1に記憶に残っている製品と主な課題をまとめる。その中でも特に印象に残っている仕事について以下に触れてみたい。

#### 2. 1 低騒音モノレールの開発

入社して4～5年たった頃、社内の騒音関係者が集められ、「モノレールを受注した。ただし、軌道横25m地点での騒音レベルを70dB(A)以下にすることが条件」と告げられた。三菱重工はそれまで、海外からの技術導入で、図1に示す懸垂型モノレールを製造しており、湘南モノレール（大船～江の島）で運航していた。ただその騒音レベルは84dB(A)程度であった。騒音に関係するものなら理解いただけと思うが、一般に機械の騒音レベルを一気に十数dB低減することは非常識である。

早速社内でプロジェクトが形成され、音源ごとに寄与度を分析し、その低減目標値が決められた。私は、まだ経験が浅かったが、主音源である台車（モータ、減速機、車輪（タイヤ）の駆動系）の

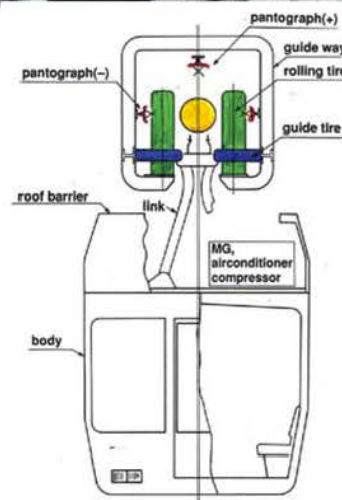
表1 企業で経験した主な製品開発とトラブル対応

乗り物	船	新造船の試運転騒音計測，テクノスーパーライナー低騒音化
	車両	<b>低騒音モノレールの開発</b> ，高速車両の低騒音化（空力音，微気圧波対策）
	自動車	ANCを用いた車内音の低減，ANC付エンジン排気マフラー
	航空機	パネルの音響加振，境界層での音波の屈折（JADC委託研究）， <b>アクティブ吸音ナセルの開発</b> ， <b>ジェットノイズの低減（UTRC共同研究）</b> ヘリコプター(MH2000)の低騒音化（主にANCの適用）
	宇宙	宇宙ステーション内実験装置の低騒音化
プラント	ガスタービン	<b>排気発生音の低減</b> ， <b>排気消音器</b> ，エンクロージャー，騒音アセスメント， 燃焼振動の予測・対策
	蒸気タービン	ガバナー弁異音対策
	ボイラ	熱交管群共鳴音，音響ストローブ， 蒸気弁用サイレンサー（多孔質金属ディフューザ，セラミックサイレンサ）
	送風機	消音器，低周波音（サージング，旋回失速）
	原子力	熱交管群共鳴音，ANCによるプラント内低騒音化（ポンプ，モータ等）
	その他	音波凝集装置
機械	空調機	ファンの低騒音化，空調機音の音質評価，空調ダクトのANC
	建機	パワーショベルエンジン冷却系の低騒音化，キャブのANC
	試験装置	<b>衛星の音響加振設備（EPTの開発）</b> ， <b>大型低騒音風洞</b> ， <b>フローノイズシミュレータ（低雑音回流水槽）</b> ， ジェットエンジンテストスタンド
	その他	<b>ASEの開発（ANC付道路用防音壁）</b>

\* ANC: Active Noise Control（能動騒音制御），EPT: Electro Pneumatic Transducer（大音響発生装置），  
JADC: 日本航空機開発協会，UTRC: United Technologies Research Center，ASE: Active Soft Edge

低騒音化を担当することになった。どのように検討を進めていこうかと相当悩んだ記憶がある。まず、地上で実物台車の付加試験ができる装置を製作し、主な騒音の発生源と、寄与度を調べた。その結果、モータ出力を車輪に伝えるベベルギアが、負荷をかけると非常に大きな騒音を発生することが分かった。私は歯車に対しては全くの素人であったが、同じくらいの動力を伝達するトラックのデフギアは静かであるとの上司の示唆を受け、三菱自動車に入り込んで種々教えを受けた。その結果、ケーシングの剛性不足による歯当たりのずれが騒音発生の主な原因であることがわかり、設計の方と新しく駆動系を設計し、低騒音のギアが完成した。他にモータの冷却ファンの外扇化、タイヤのトレッドの改善等で、新台車は見事目標の低騒音化を達成した。この時学んだことは、「**音の発生メカニズムを正しく把握し、適切な打手を打つ重要性と、他に先生を探せ**」ということである。

他の箇所の低騒音化もそれぞれ順調に進み、試作車両が作られて、湘南モノレールで試運転が行われた、その騒音計測時の緊張感は今も忘れない。いくつかの不具合を修正したのち、騒音レベルは

図1 懸垂型モノレール<sup>[2]</sup>



目標値をクリアした。その後、本モノレールは千葉市に採用され、今も主要交通機関として走り続けている。桁にも対策が行われ、騒音レベルは63dB(A)at60km/hを達成している<sup>[2]</sup>。この時の成功体験は、その後の大きな自信となった。

## 2. 2 ガスタービン排気消音器

三菱重工は東北電力と共同研究で、国内初のガスタービンコンバインドプラントを東新潟発電所に建設することとなった。私は騒音アセスメントから各機器の騒音対策まで全般を担当することになった。コンバインドプラントは、ガスタービンで発電機を回すとともに、その排ガスを排熱回収ボイラに通して蒸気を発生し、その蒸気で蒸気タービンを回してさらに発電するもので、その効率の高さから現在では火力発電の主流となっている。三菱重工の場合はガスタービン発電機と蒸気タービン発電機は別になっているが、適切な図がないため、参考に1軸コンバインドプラントの例を図2に示す。

私はそれまでシンプルサイクルのガスタービンプラントで、強烈な排気低周波音を経験し、その対策のための大きな排気消音器を設計してきた。コンバインドプラントでも当然排気消音器が必要と考え、600°C、60m/sの排ガスに耐える吸音材として、綿密な試験の下セラミック繊維の吸音材を選定し、消音器を設計した。

プラントは6号機まで順調に試運転を開始し、非常に静かなプラントだと良い評価を頂いていた。一本の電話で事態が急変した。「ガスタービンが次々と背圧大でトリップしている。排熱回収ボイラに入ると脱硝装置の前面に白い綿状のものが張り付き、流れを塞いでいる」というのである。私は真っ青になった。種々の耐久試験をし、自信を持って採用したセラミック繊維の吸音材が飛んだのである。

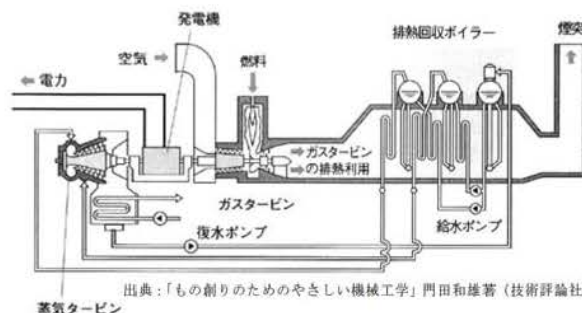
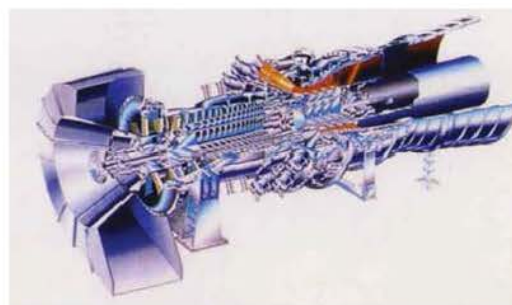
それから3か月は地獄であった。世界最新鋭のプラントが自分のミスでトリップし、会社に計り知れない損害を与えてしまったという自責の念の上に、その原因の追究と対策案の立案、検証試験などで明け暮れた。ウィークデイに試験、解析を行い、その結果をまとめて土、日に客先に報告するというパターンで、ほとんど家に帰る間もなかった。

原因は吸音材を巻いているセラミック繊維の布の摩耗であることが分かった。振動によってこすれて穴が開き、中から吸音材が吸い出されたの

である。原因は分かっても対策の打ちようがない。最後に打ち出した案は、吸音材の無いサイレンサーである。吸音材が無くてもリアクティブ効果で十分減音できるとし、モデル実験で検証した。客先と共願で特許まで取得した。(今から考えるとヒヤヒヤものだがー。)結果としては、サイレンサーから吸音材をすべて取り出し、運転を開始したが、騒音が増加することなく、一件が落ち着いた。それでは最初から吸音材はいらなかったということになるが、客先はそれ以上何も言わなかった。

このトラブルを通して、「**仲間の重要性、決して逃げないこと、答えを出すことの重要性**」を学んだ。化学屋、熱屋、流体屋、構造屋、振動屋すべてが、寝る間もいとわず協力してくれた。お客さんは理屈より答えを求めている。後日談であるが、その後排熱回収ボイラに大きな消音性能があることが分かり、今ではコンバインドプラントに排気消音器は設置されていない。

シンプルサイクルのガスタービン排気低周波音は種々の問題を引き起こしている。あるプラントでは、運転時に社長室の窓が振動するという問題が発生し、**確実に一発で対策**するために、煙突に直径約10m、長さ約10mの拡張室を設置したこともある。煙突1本を建て替える大工事であったが、対策が成功したときの感動は忘れられない。またこの時の経験が、後の多孔側壁による開口端反射率の低減と低周波音の発生防止のアイデアを生むきっかけとなった<sup>[3]</sup>。



出典:「もの創りのためのやさしい機械工学」門田和雄著(技術評論社)

図2 ガスタービンとコンバインドプラント



ガスタービン燃焼振動という大きな爆弾を抱えている。燃焼と音場が連成して自励的な圧力変動を引き起こし、燃焼器やブレードを破損するという現象で、予混合ガスの希薄燃焼で発生しやすい。音響ダンピングの付加が不可欠と考え、音響屋として、その予測対策に取り組んだ。これらは大学での研究にも引き継がれている。

### 2. 3 大型低騒音風洞他の試験装置

鉄道的高速化に伴って、空力発生音の対策が重要になってくる。JR総研では世界に誇れる大型低騒音風洞を設置し、本研究を推進しようという計画が立てられた。三菱重工は風洞メーカーとして受注活動を展開した。客先の仕様は、風速 300km/h 時、風洞暗騒音が機側の定められた位置で 75dB(A) 以下を保証せよというものであった。

種々のモデル実験に基づいて実機騒音を予測すると、従来の技術を駆使して製作した場合、予測値は 78dB(A) となった。ノズル・コレクター部で発生する空力騒音がネックであった。その低減に、共同研究をお願いしていた大阪府立大学の西岡教授から「柔毛材の設置」というアイデアが出された。早速実験を繰り返し、その対策を実施することにより実機で 75dB(A) になるという予測が出た。ただ、予測誤差を考慮して保証値はあくまでも 78dB(A) であるとした。営業サイドからは、他メーカーが 75dB(A) を保証すると言っているとのプレッシャーがかかったが、断固妥協せず 78dB(A) の保証値、75dB(A) の目標値を押し通した。客先には技術内容をきちっと説明することにより納得が得られ、見事受注した。

完成した風洞を図 3 に示す。ノズルコレクター部に柔毛材を設置したことと、ノズル周りに伴流調節機構を導入したのが特徴である。最終的には伴流の調節を適切にすることによって 75.6dB(A) を達成し、無事研修された<sup>[4]</sup>。本風洞は竣工してもう 15 年以上になるが、世界一低騒音の風洞と自負している。また稼働率が高く、車両や自動車の低騒音化に寄与している。本プロジェクトで学んだことは「**技術に妥協は許されない**」ということである。また、**設計、営業部門の良きパートナーも不可欠**である。柔毛材についてはさらに大学で研究を進展させた。

他に大きな試験装置としては、衛星の**音響加振試験設備**、**フローノイズシミュレータ**などに参画した。前者は衛星をロケットで打ち上げる際にさらされる音響環境を地上で再現し、衛星が音響加

振で壊れないことを事前に確認する装置で、衛星を収める大きなチャンパー内で 150 ~ 160dB 程度の音圧レベルを実現するものである。心臓部の音響発生装置 (EPT: Electro Pneumatic Transducer : スリットの開度を波形に合わせて変化させ、圧縮空気の放出量を変更させて音響を発生する装置) を内作することになり、苦勞したことを思い出す。NASDA 向けの装置は逸注したが、社内向けに完成させた<sup>[5]</sup>。この時**音の破壊力を身をもって体験**した。

後者は、2m<sup>2</sup>×10m のテストセクションに最大 15m/s の水流を流す低雑音の回流水槽である。計画段階とはいえ、大きな工事のプロジェクトマネージャを経験させていただいた。世界を回って最新技術を調査し、企業間を調整しながら、ユニークな低雑音水槽の計画が完成した<sup>[6,7]</sup>。その後設計、建設に引き継がれ無事完成、引き渡された。

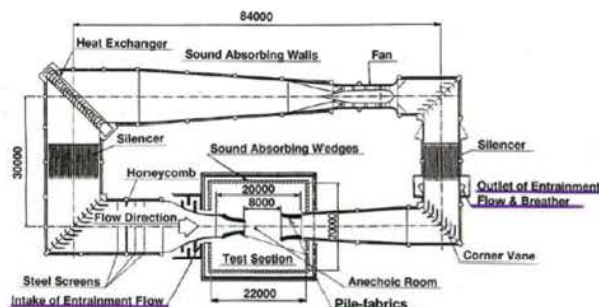


図 3 大型低騒音風洞<sup>[4]</sup>

### 3. 企業での要素技術開発

我々の時代は恵まれていて、製品開発やトラブル対応と並行して、関連した要素技術開発のための予算が認可された。社内の共通研究や、事業所からの委託研究があるが、私の場合は、「空力騒音」、「ダクト音響」、「音質評価」、「アクティブノイズコントロール」などに取り組んだ。厳しい予算の争奪戦と、研究内容に対する社内研究者間の厳しいフォローが我々を成長させてくれた。以下主なものを振り返りたい。



### 3. 1 空力騒音

入社当時ファンの騒音低減は大きな課題であった。そこでまず空力騒音の課題に取り組んだ。当時はCFD等ない時代で、実験的なアプローチが主であった。最初に取り組んだのは「翼列騒音に関する研究」である。その時まで珍しかった低騒音風洞を使用した翼列試験で、種々の翼列条件に対する発生音のデータを計測した。先輩の指導の下、それらに基づいて、発生音に対する流速、迎え角、翼のそり角、食違い角、節弦比などの影響を明らかにし、ファンの騒音をオフデザイン点も含めて予測できる式を作成した。この結果は、三菱重工技報に論文として発表された<sup>[8]</sup>。私の初めての論文である。低圧軸流ファンについては、他にチップクリアランスの影響、入口乱れの影響等、多くの実験をしたのを記憶している。

プラントなどによく使われているバルブからは非常に大きな音が発生する。特に差圧がチョーク条件を超えるバルブでは、強烈な音でその騒音対策が大変である。これは絞り部後流に衝撃波を伴う非常に強い乱れが発生するためである。私は多孔材を絞り部直後に設置することにより、乱れを抑えられないかと考えた。最初は、このような高速流の中に多孔材を挿入するとすぐ壊れてしまうのではないかと、流れの抵抗が増えて、流量が減少してしまうのではないかと大いに懸念された。結果はうまくいったのである。流量は変化せず30dB以上のドラスティックな減音効果が得られた。理屈は後付けだが簡単である。多孔材で少々背圧が増加しても絞り部の差圧がチョーク条件を満足していれば、流量は元圧とチョーク流速に依存するため減少しない。また、流れは大きく乱れる前に多孔材に入り、急激に減速する。その時多孔材により、衝撃波は封じ込められ、乱れは大きく成長しない。その結果発生音が大幅に低減するとともに、多孔材を壊すような大きなエネルギーも発生しない。実際には、多孔材として気孔率90%以上のニッケルクロム合金の多孔質金属を用い**多孔質金属絞り機構**として、放風弁や減圧機構、蒸気ブロー用サイレンサーのディフューザなどに用いられた<sup>[9,10]</sup>。図4に放風弁に適用した例を示す。これまでで**最も画期的な成果**である。

他に、高速車両の空力発生音が問題になるにつけ、段差や突起などから発生する音の特性を実験的に調査、整理した<sup>[11]</sup>。また、管群共鳴音やキャビティ音などの空力自励音は、流れと音場の連成問題として非常に興味深い内容である。問題が発

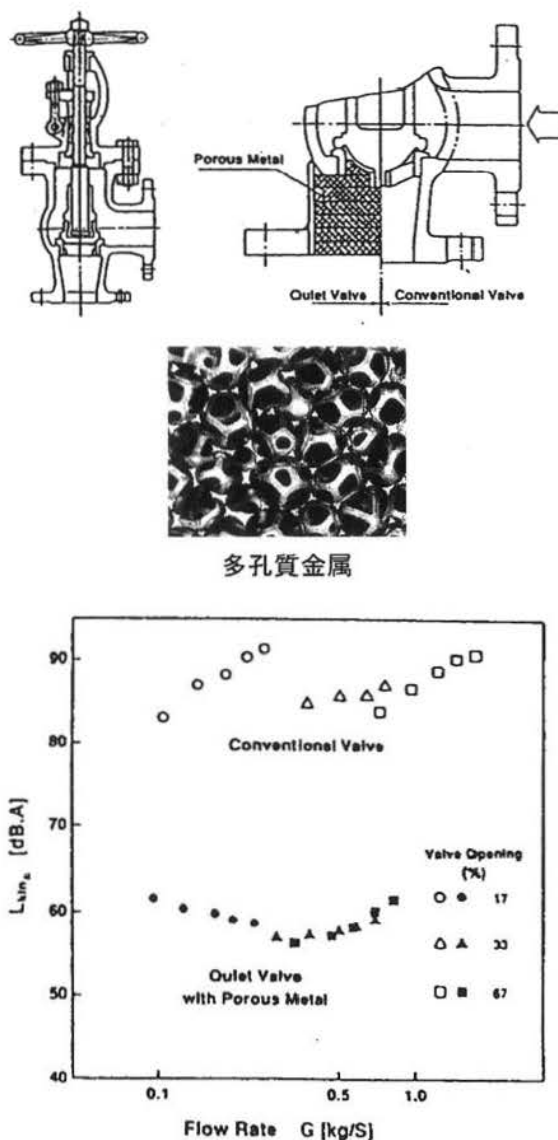


図4 多孔質金属利用的騒音放風弁とその効果<sup>[10]</sup>

生するたびに種々検討を加えたが、自励音の発生を一般的に予測できるところまでは至らなかった<sup>[12,13]</sup>。

### 3. 2 ダクト音響

送風機やガスタービンなどの消音器の設計技術開発を担当することになった。これらの消音器には一般に吸音スプリッタを使用した吸音型消音器が用いられており、それまでは、経験値をもとに設計が行われていた。私は、理論に基づいて、発生音スペクトルに適応した消音器の形状や材質を設計したいと考えた。当時は有限要素法や境界要素法を用いた音場解析はまだあまり用いられて



おらず、ジェットエンジンの消音ナセルの計算式を参考に、吸音スプリッタに適用できる理論式を構築した。さらにそれを設計チャートの形にまとめた。これにより、使用する**吸音材の密度、流れ抵抗、スプリッタ表面の多孔板などの表面保護材の影響を考慮した適正寸法・形状の消音器を設計**できるようになった<sup>[14,15]</sup>。図5に設計チャートの例を示す。

上記は主に中周波数域の消音効果を与えるものであるが、プラントのようにダクトが複雑に繋がった形状で、ダクト内に平面音波しか伝播しないような低周波数域の音響伝播を検討するときは、エンジンのマフラーのようにリアクティブ効果を考慮した検討が必要である。そこで**管路系の伝達マトリックスや音源の音響インピーダンスを計測し、それらを用いて伝達マトリックス法により複雑管路系を解析する手法を構築**した<sup>[16,17]</sup>。

以上は波動論に基づいた解析であるが、さらに高周波数になるとエネルギー論的な取り扱いが必要になる。そこで、統計的エネルギー法（SEA法）にヒントを得、ダクト内の右進行波エネルギーと左進行波エネルギーのパワーバランスを解く、**音響パワーバランス法によるダクト音響解析**を案出した<sup>[18]</sup>。これはちょうど私が姫路工業大学の社会人博士課程に在籍していた時で、土曜日一日でほぼ内容の骨子を作成した印象深い仕事である。私の博士論文は、上記低周波、中周波、高周波のダクト音響解析手法に後述のダクト出口放射音のアクティブコントロールを加えて、「**ダクト系での音響伝ば解析とその消音対策法に関する研究**」としてまとめた<sup>[19]</sup>。

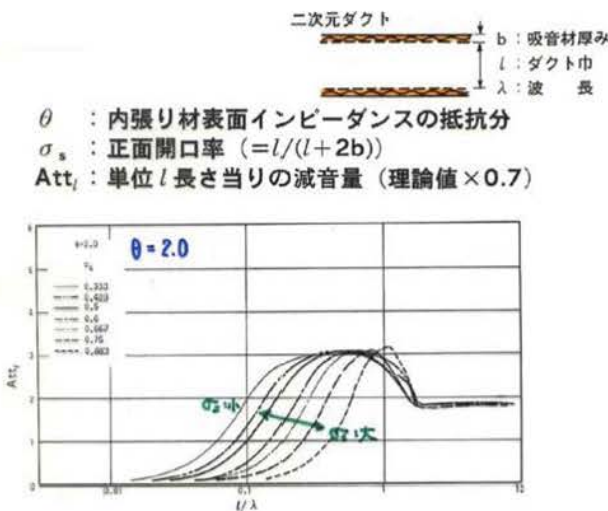
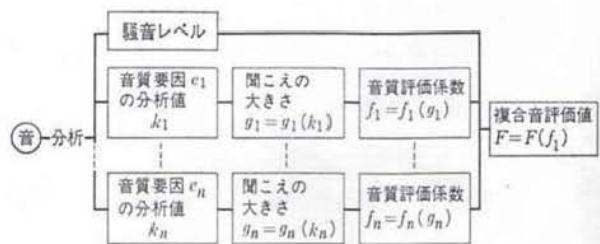


図5 吸音ダクトの設計チャート例<sup>[15]</sup>

### 3. 3 音質評価

現在、自動車や家電等生活に身近な製品は、音響設計、快音化設計などと、単なる低騒音化だけではなく、如何に適正な音質の製品に仕上げるかが注目されるようになってきている。私自身も、製品はそれ‘らしい音’に仕上げるのが重要と主張してきている<sup>[20]</sup>。しかし、私が空調機の音質を定量化する音質評価システムを構築するように指示を受けたのは、1980年頃で、まだ騒音を如何に低減するかが注目されていた時期である。

先例がなく、協和音や不協和音の勉強をしたり、聴覚心理の専門家である大阪大学の難波教授、桑野教授のご指導を受けたりして、自分なりに音質評価の因子を以下の5因子に絞り、それぞれの因子の評価値から総合的な評価指数を求める手法を提案した<sup>[21]</sup>。具体的には、騒音レベル、ベーススペクトルパターン、純音度ファクター、レベル変動度の大きさ、レベル変動度の周期性の強さを評価因子とした。これらは現在用いられている評価手法に通じるものであると自負している。当時構築した音質評価システムの考え方を図6に示す。



(a) 騒音の音質評価の構成

分類	安定した音		(変動音)
	(広帯域音) ベーススペクトル音	(純音) 安定した1または複数の純音	時間変動を伴う音 不規則変動音・周期性変動音・過渡音
例	ファン広帯域音・風切り音	ファンNZ音 モータ磁気音	冷媒流動音・軸受音 びびり音・息つき音
聴感	全体的な聴感の印象を左右する。	いったん耳につきだすと非常に気になる。	耳につきやすい不安感・異常感を感じる場合がある。

NZ: ファン回転数と翼枚数による音

(b) 空調機の主音質と要因

図6 空調機の音質評価システムの考え方<sup>[21]</sup>

### 3. 3 アクティブノイズコントロール (ANC)

神戸造船所の設計者が、新聞を持って相談に来た。「スピーカから逆位層の音を出してエンジンの



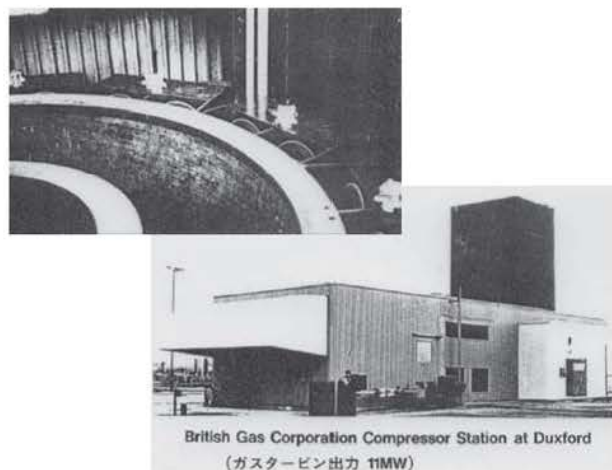
排気騒音を消すということらしいが、こんなものできるか？」1979年頃の話である。これが私とアクティブノイズコントロール(ANC)の最初の出会いで、それ以来30年以上の付き合いである。

原理的にはできるはずと、早速ダクトで実験すると、純音成分については消音することができたが、アナログシステムのためランダム成分については消音できなかった。まだまだ実用に遠い技術と考え、文献調査による勉強だけで、そのまま放置しておいた。1983年にヨーロッパで初めて国際学会に発表する<sup>[22,23]</sup>機会を得たので、文献調査<sup>[24]</sup>で知ったイギリスのプラントを見学させてもらった。それが図7に示すガスタービンプラントで、煙突出口に72個のラウドスピーカを設置し、デジタルコントローラを用いて、低周波音を見事に消音していた。制御手法も比較的単純であり、‘これならできる’と確信し、早速研究に取り掛かった。

まず、固定伝達関数法を用いて、**ダクト出口放射音制御の基礎実験**を実施し、ランダム音が消音することを確認した<sup>[25]</sup>。次に**波形同期法を搭載したコントローラ**を製作し、箱の中の音場制御を試み、共鳴音場の対策には非常に効果的であることを示した<sup>[26]</sup>。以後、早くも実機適用試験へと進んだ。

まず、DSP(Digital Signal Processor)を搭載したコントローラを内作り、Filtered-X-LMSアルゴリズムによる**空調ダクトの消音**を行った<sup>[27]</sup>。この時はタービュレンスチューブマイクロホンを考案し、気流の圧力変動による参照マイクロホン、エラーマイクロホン間のコヒーレンス低減対策に注力した。他に1次元ダクト用としては、**ディーゼル発電機排気騒音対策**<sup>[28,29]</sup>(図8参照)、**大型軸流送風機の超低周波音対策**<sup>[30]</sup>などへの適用試験を実施し、それぞれ15~20dB程度の減音効果が得られること、耐久性も十分であることを確認した。

空間の消音としては、新しく考案したマルチタイミングの同期式LMSアルゴリズムを用いた**パワーショベルキャブ内音の低減**<sup>[31]</sup>、4-4-4のMultiple Filtered-X-LMSアルゴリズムを用いた**ヘリコプタ機内音の低減**<sup>[32]</sup>、波形同期法による**トラック運転席でのエンジンこもり音制御**などを行った。これらはすべて試作・試験としては成功したが、コスト、メンテナンスほかの理由で残念ながら商品として世に出ることはなかった。特にトラック運転席のこもり音制御は、プロトタイプを搭載した走行試験まで成功したのに残念である。



British Gas Corporation Compressor Station at Duxford  
(ガスタービン出力 11MW)

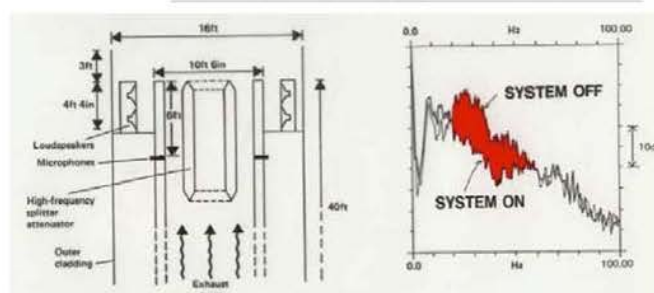
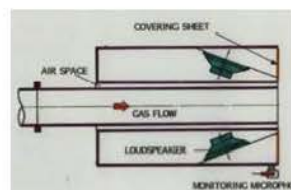


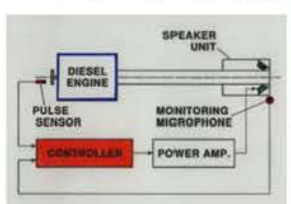
図7 ガスタービン排気用 ANC の例<sup>[24]</sup>



スピーカー・マイクロホンの配置



SPEAKER UNIT



ANCシステム構成(波形同期法)

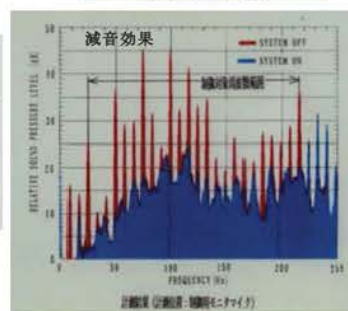


図8 ディーゼル発電機排気音用 ANC<sup>[28]</sup>

新製品を世に出すには、**設計、営業の分野まで踏み込んで行って活動する必要性**を痛感した。

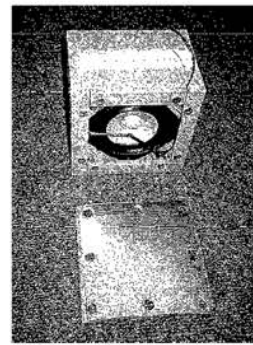
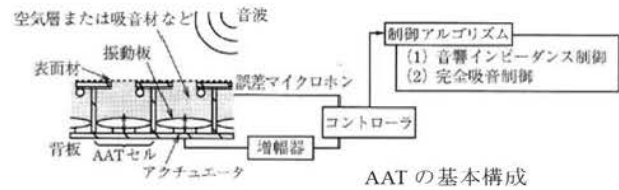
丁度その頃、米国の UTRC(United Technology Research Center)と三菱重工が共同研究をするという話が飛び込んできた。UTRCはジェットエンジンのPlatt & Whitneyの企業グループの研究機関であり、ANCの次の展開を考えていた私は、「ANC技術を用いたジェットエンジン吸音ナセルの開発」



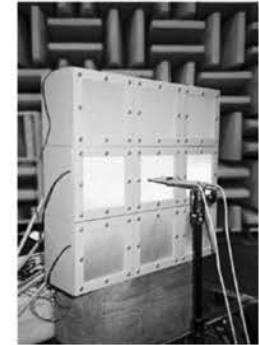
を提案し、採用された。具体的には図9に示すように、壁面に **AAT(Active Acoustic Treatment)** セルと呼ばれる多数のセルを並べることによって、壁面の音響インピーダンスを自由に制御し消音効果を高めるものである。各々の AAT セルは、表面材、マイクロホン、振動板、アクチュエータとアンプ、コントローラから成り立っており、入射してくる音波に合わせて振動板（スピーカ）を振動させ、AAT セル表面で所定の反射率が実現されるように制御される。個々の AAT セルは独立に制御され、ただ並べるだけで良い。究極の**分散制御**である。他に消音器の低周波性能改善やホールの吸音率の可変制御などにも適用が期待される。共同研究ではプロトタイプのアートセル、それを並べた AAT シートを試作し、期待通りの効果を確認することができた<sup>[33,34]</sup>。AAT は私の現在の研究のメインテーマの一つである「**アクティブセルを用いた音場境界の分散制御**」の原点である。共同研究は他のテーマも合わせて 5~6 年続いたが非常に貴重な経験をする事ができた。

その頃、国道 43 号線の騒音訴訟に対して最高裁で国の敗訴が確定し、道路用防音壁の高性能化ニーズが高まっていた。AAT の適用先に悩んでいた私は、**ASE(Active Soft Edge)** を提案した。ASE とは、防音壁頂部に AAT セルを並べ、音圧ゼロ境界（ソフト境界）を実現することにより、回折音を大幅に低減しようとするものである。制御スピーカすぐ前の音圧をフィードバック制御していることから、あらゆる方向からの音波、移動音源にも対応可能であるという特徴を有している<sup>[35]</sup>。当時の土木研究所と、国の予算で研究開発を進めることになり、試験走路に 40m 長の試作 ASE 防音壁を設置し、トラックの実走行試験による効果確認を行った。その結果、同一高さの通常の防音壁に比べて 5dB 程度高性能であることが判明した<sup>[36]</sup>。その後後輩たちの努力により、改良、耐久試験などが実施され、国道 43 号線の芦屋地区に施工された<sup>[37]</sup>（図 10 参照）。これは **ANC の道路騒音への世界で初めての実用化例**であり、注目された。当初は、コスト面、耐久性、環境変化への性能追従等多くの懸念があったが、それを見事クリアした後輩諸氏の努力に感謝する。

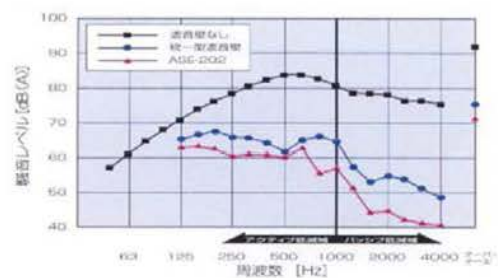
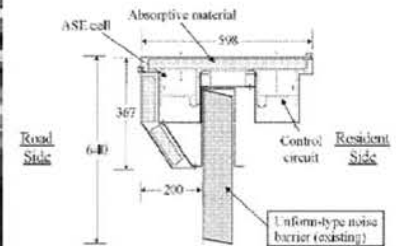
その他、アクティブコントロール技術の流れの制御に適用した。Feedback LMS アルゴリズムを用いたキャビティ音、管群共鳴音など、自励音の制御は非常に有効であった<sup>[38]</sup>。これは音場のダンピングを制御し、結果的に自励音の発生を防止するものである。



AATセル



AATシート

図9 AAT(Active Acoustic Treatment)<sup>[33]</sup>図10 ASE(Active Soft Edge)<sup>[37]</sup>

その他の要素技術としては、音響信号処理や音響利用などを手掛けた。音響インテンシティ計測装置を自作し、音響エネルギーフローを計測、可視化した<sup>[39]</sup>。また、音響による異常診断システムの構築では、広域モニタリングにメリットはあるものの、外乱対策に苦勞した。超音波を用いた煙草の煙の凝集試験で、止めていた煙草が復活したり、音響スートブローで「騒音屋が騒音を出してどうする」と怒られたり、懐かしい思い出である。



#### 4. 大学での研究開発

私は11年前54歳で大学に移ってきた。当初はのんびりやっと思いこんだのだが、とんでもないことであった。そこで、いつも学生に言っていることであるが、「同じやるなら本気でやろう、楽しもう」と研究、教育、その他活動に取り組んできたつもりである。

研究はいまさらアカデミックな基礎研究は無理だろう、自分の特性を活かして、**実用化研究で大学と企業の橋渡しをやろう**と決めた。ただ、自分の経験から、**世界でNo.1クラスにならないと企業も振り向いてくれない**と自戒した。

研究開発内容は引き続き機械の静粛化技術が中心で、企業時代に中途半端に終わって、そのメカニズムの解明ができていないもの、関連して出てきた新しいアイデア、企業からの依頼による共同研究などを行った。また学生時代からの夢でありながら手を付けることができなかつた、新しい飛行体の開発にも取り組んだ。図11に計測制御工学研究室(MCS Lab.: Measurement & Control System Lab.)の基本スタンスを示す。



図11 研究室(MCS Lab.)の基本スタンス

##### 4.1 空力騒音

空力騒音ではまず**柔毛材の発生音低減メカニズム**を解明したく、「**表面性状適正化による空力発生音の制御**」について研究した。その結果、柔毛材は99%程度の気孔率を有する多孔体と同様で、流れに適度な抵抗を与えることにより、上流乱れに対しては、内部で渦を徐々に減衰させ、後流渦放出に対しては、せん断層を穏やかにすることにより放出渦を弱める。その結果、圧力変動が

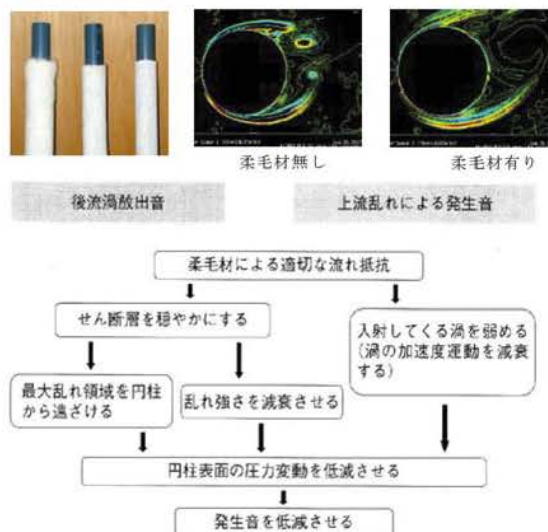


図12 柔毛材による空力発生音低減メカニズム<sup>[40]</sup>

弱められ発生音が低減すると考えられた<sup>[40]</sup>。

この時静電植毛が使えるとのアイデアが生まれ、ファンなど任意の形状の任意の箇所に植毛できるようになった。小型の**植毛ファン**を製作し性能試験を行ったところ、植毛により抵抗が増加するため、発生音も低減するが、性能も劣化することになった<sup>[41]</sup>。そこで翼先端や前縁など必要ところにわずかに植毛すれば、空力性能は変化せず発生音を1,5dBほど低減できることが分かった。本技術は非常に反響が大きく、雑誌やテレビのニュースで取り上げられた。また幾つかの企業が実用化に向けて検討を始めた。

大学に移って以来、10年間ずっと企業と高速車両の騒音低減に関して共同研究を実施してきた。その中で台車キャビティ部での空力騒音が大きな騒音源と予測され、その対策が必要になった。種々の形状を検討したが、担当学生の発想でスクープ整流板というアイデアが生まれた。キャビティでの空力騒音は、上流エッジから放出された渦が下流エッジに衝突するときに発生する圧力変動が原因であると考えられる。そこで一般的には、上流側に流れを跳ね上げる変流板を取り付けて、渦の後流エッジへの衝突を回避したり、後流エッジを丸くして渦衝突時の急激な渦の加速度運動を低減することにより、音の発生を低減するなどの対策が取られる。しかし、双方向に走行する車両には適さない。**スクープ整流板**とは、図13に示すように、キャビティの両エッジ部内側に渦を掬い上げるような段差をつけることである。適切な寸法にすると、そこに圧力溜りが生じ、渦を直接



エッジ部に衝突しないように跳ね上げ、発生音を低減する効果があることが分かった<sup>[42,43]</sup>。これは非常にシンプルな対策であり、種々の箇所への実用化が期待される。

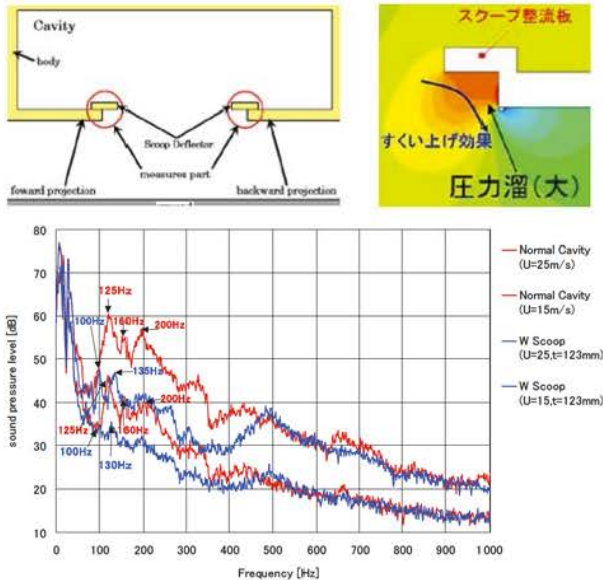


図 13 スクープ整流板とその効果<sup>[43]</sup>

空力騒音としては、最近では**流れと音場の干渉問題**に注目し、ダクト開口端における音圧反射率に対する流れの影響や低亜音速噴流発生音に対する音場の影響<sup>[44]</sup>などにも取り組んでいる。これらの検討では CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いた解析も行うが、CFD はあくまでの現象理解のためのツールとの位置づけで活用している。また、昔からの懸案事項である風洞の脈動現象や燃焼振動の解析に関しては、企業時代の後輩が社会人博士課程に入学して検討を深め、纏め直してくれている<sup>[45,46]</sup>。

## 4. 2 音場制御 (パッシブ)

パッシブ技術を用いた音場制御としては、まずガスタービンの排気超低周波音で問題になっていた、煙突での気柱共鳴低減のために、**多孔側壁**の検討を行った。これは、ダクトの開口端付近を多孔側壁など適切な流れ抵抗を持った壁で構成することにより、ダクト開口端での低周波の音響反射率を大幅に低減でき、減衰が増加して、ダクトの共鳴倍率が低減するという現象である。企業時代に、ダクトでの音響ダンピングを増加させようとあちこち穴をあけているうちに、先端付近だけで

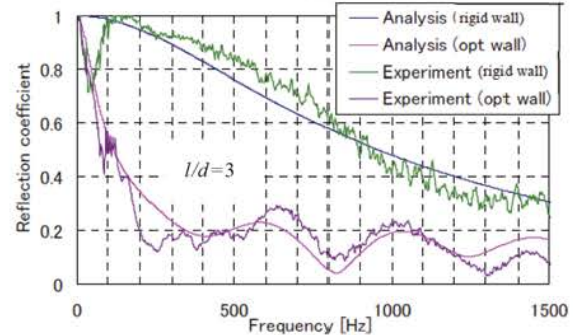
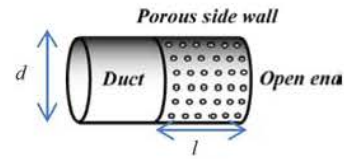


図 14 多孔側壁による開口端反射率の低減例<sup>[3]</sup>

十分効果があることを偶然発見したものである。理論解析と実験により、ダクト径、多孔側壁の長さ、表面インピーダンスと開口端反射率の関係を明らかにした<sup>[3]</sup> (図 14 参照)。本技術もいろいろなところに適用可能である。

0A 機器の冷却ファンの騒音対策について企業と共同研究を実施した折、コンパクトなスペースで薄い吸音材しか使えず、低周波の消音対策には限界があった。悩んだ末、低周波音は開口端で多く反射しているのだから、その音波をそのまま本体基盤の方へ導いてやれば消散減衰するのではないかと思いついた。そこで圧力は通さないが音は通すフィルムのような素材でダクトを作成したところ、非常にうまくいき、モックアップ試験では騒音レベルで 7dB ほど減音した。それを**音響透過壁**と呼び、不要なところへ音を逃がし、目的とするところの音を低減する技術として開発を進めた。具体的には、実機天井換気扇やカーエアコンダクトへの適用試験を行い、いずれも数 dB の減音効果を確認することができた<sup>[47,48]</sup>。図 15 に天井換気扇への適用例を示す。本手法は薄い音響透過壁で、スペースがなくても低周波の減音を図れることが特徴である。なお、量産できる透過壁素材の開発が今後の課題である。

音響透過壁の構造を検討しているとき、フィルムを網や多孔板に直接接触させると、圧力をかけたときに極端に音響透過性能が劣化することが認められた<sup>[49]</sup>。そこで思いついたのが**空気圧を利用した薄膜軽量遮音構造**の開発である。袋状にした薄膜を 3mm~10mm のメッシュの金網で抑え内圧をかけると、図 17 に示すように、内圧に応じて遮音量



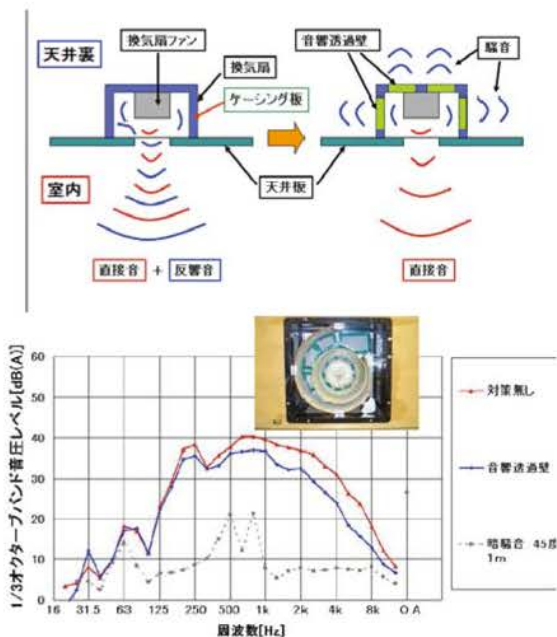


図 16 音響透過壁を用いた天井換気扇の騒音対策<sup>[47]</sup>

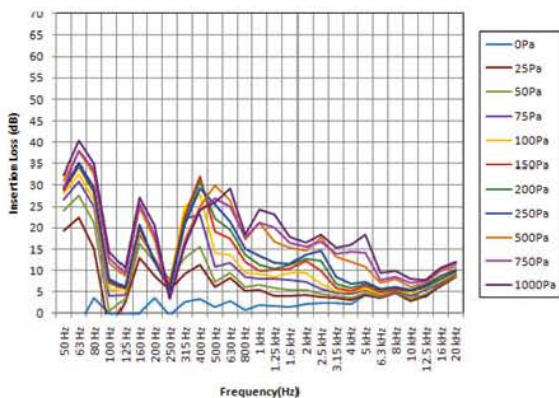
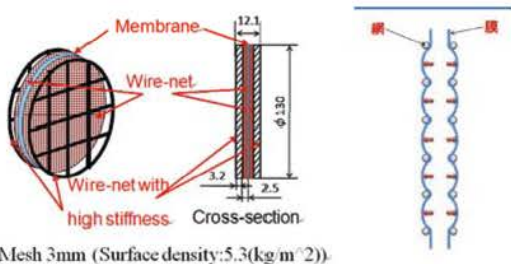


図 17 空気圧を利用した薄膜軽量遮音壁<sup>[50]</sup>

が 0dB~20dB 程度変化する<sup>[50]</sup>。これは、網でメッシュ状に区切られた小さな薄膜に内圧により張力が発生し、その固有振動数が 10kHz オーダーまで上昇、剛性則によって遮音効果が発生したためと考えられる。また網自身も空気という質量をほぼ無視できる媒体で剛性を増すことができ、低周波

における遮音量も増大している<sup>[51]</sup>。本遮音壁は、従来の遮音壁と併用することにより、軽量で特に低周波における遮音量の大きな遮音構造を実現できるものと期待され、現在実用化に向けて開発中である。

他に要素技術として記憶に残っているのは、**多孔板の音響インピーダンス**の計測である。企業時代から使用していた、大音圧や直行流、並行流など非線形の影響も考慮できる Guess の式の妥当性を試験装置を工夫して改めて確認した<sup>[52]</sup>。また、交通安全環境研究所との共同研究で、新しく考案した**消音ホイールカバーによるタイヤ騒音の低減**に取り組んだ。実走行試験で騒音レベルを 2~4dB 低減することができたが、実用化には軽量化など課題も多い<sup>[53,54]</sup>。

### 4. 3 アクティブノイズコントロール

ANC の実用化については企業で散々苦労を経験してきたので、大学では、実用化一点張りではなく、多少遊び心も入れて、ANC でしかできないもの、「こんなものができたら良いなー」と思える夢のあるもの、単に技術的興味があるものも含めて取り組んできた。その中でも**分散制御**、**シンプル化**を重要なキーワードの一つとした。

まず取り組んだのは、分散制御の考え方を取り込んだ**アクティブ遮音構造 (ASI: Active Sound Insulation)**の開発である。図 18 に示すように、二重壁の内部をセル状に分割し、その音圧を内部に備えたマイクロホンとスピーカでフィードバック制御するものである<sup>[55]</sup>。各セルは SISO (Single Input Single Output) システムで独立に制御され、セル内に均一音場が成立する周波数まで制御が可能である。まだ音源信号を参照信号としたフィードフォワード制御の段階であるが、セル内の音圧を制御対象周波数で 20dB 程度低減できることは確認した<sup>[56]</sup>。また、本コンセプトを床衝撃音の遮音に適用すべく試験を行い、フィードバック制御で若干減音効果が得られた<sup>[57]</sup>。しかし、ASI の実用化には、固体伝播音の防止、スピーカの軽量化、制御アルゴリズムの改善などまだまだ課題が多い。

「風は通すが音は通さない窓」が実現できれば素晴らしいと考え、開発に取り組んだのが、**AAS (Active Acoustic Shielding)**である。これは、図 19 に示すように、参照マイクロホンと制御スピーカをほぼ同一位置に設置したアクティブ音響セルを制御対象音波の波長に比べて十分短い間隔で



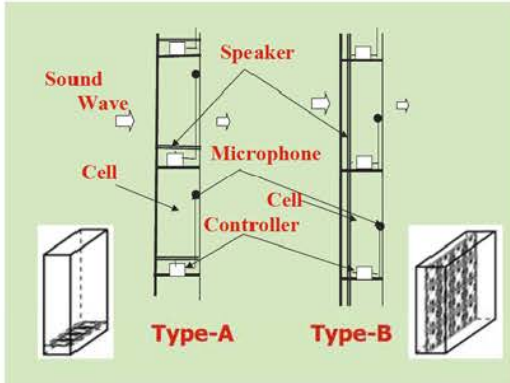


図 18 ASI(Active Sound Insulation)<sup>[55]</sup>

並べ、入射音波に対して逆位相の音波を生成するように制御すると、ホイヘンスの原理に基づき、任意の入射波面に対して、丁度同振幅逆位相になる波面を形成することが可能である。したがって、参照マイクロホンから制御スピーカまでである固定の伝達特性を与えることにより、あらゆる方向から到達する音波、複数音源からの音波、移動音源からの音波も制御可能と考えられる。またそれぞれの音響セル（この場合 AAS セル）は個別に独立に制御される<sup>[58]</sup>。

図 20 に小型 AAS-Window の試作試験結果を示す。室内の広い空間にわたって、500Hz~2kHz で 15~20dB の減音効果が得られていることがわかる。ここで制御対象周波数を ANC には高くしたのは、開口窓から直接透過してくる音の周波数はこのあたりの周波数帯域が支配的なためである。制御はセルごとに独立のフィードフォワード制御を行っているが、参照マイクロホンと制御スピーカまでの距離を 50 mm と非常に短くすることに成功している。これはサンプリング周波数を 48kHz と非常に高速にすることによって実現できたものである。これにより、斜め入射音源、複数音源、移動音源に対しても同様な減音効果が得られることを確認している。また各セルの制御回路の特性は同一の固定フィルターで実現されており、部屋の反射条件の変化や屋内での会話などに対しても制御効果が影響を受けることは少なく、安定した性能を発揮することができている<sup>[59]</sup>。また量産性にも優れている。現在、より低周波音まで性能を拡大することと、大型化を目指して検討を続けている<sup>[60,61]</sup>。

この技術は前述の ASE の高性能化にもつながった。ASE はセル前面の音圧を最小になるように制御するため遮音壁頂部より下方への回折音の低減には有効であるが、回折角の小さな上方への音

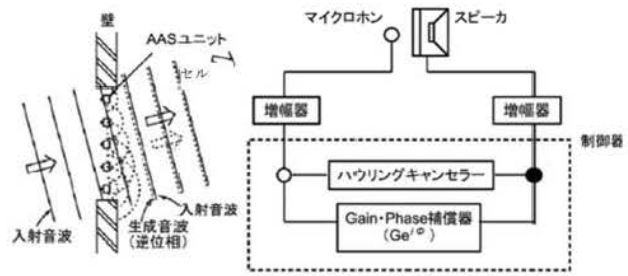
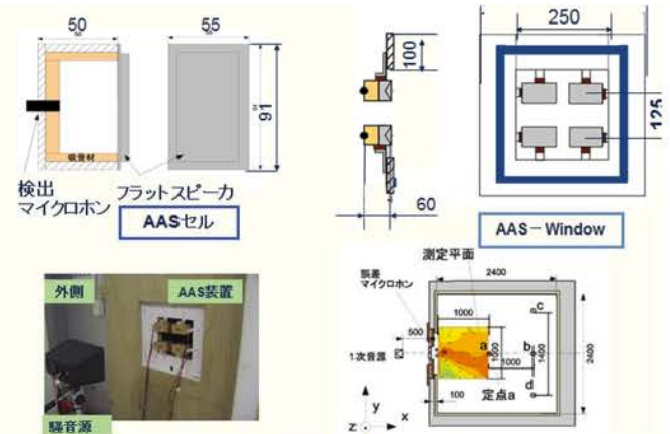
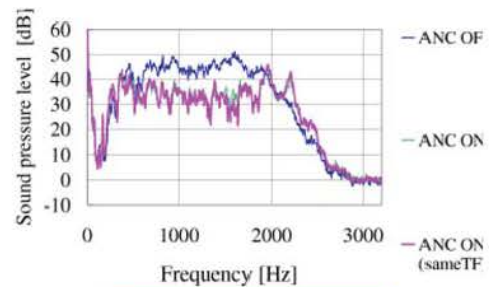


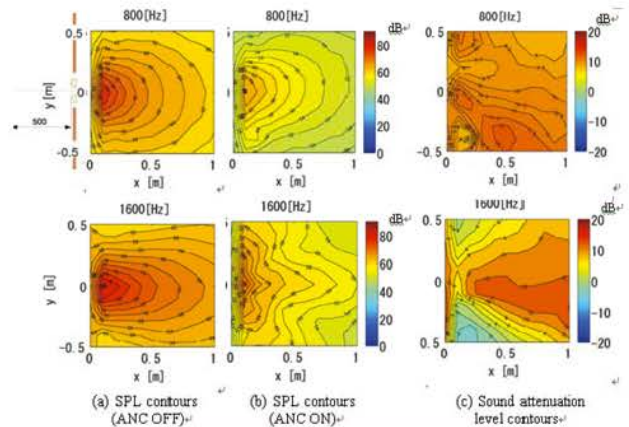
図 19 AAS の基本構成



試験装置



減音性能 (正面音源の場合)



減音コンター (正面音源の場合)

図 20 AAS の試作試験結果<sup>[59]</sup>



の低減量は僅かであった。高速道路横に高いマンションなどが立ち並ぶ都会では、このような上方への音の低減が要求されるようになってきている。そこで、AASと同様の音響セルを防音壁頂部に並べ、フィードフォワード制御で、回折角の小さな方向への回折音の低減を達成することが可能になった<sup>[62]</sup>。更にこの技術を発展させ、オフィスのパーティションへの適用を狙った、双方向の回折音の低減を可能にする **AAP (Active Acoustic Partition)** の開発を進めている<sup>[63]</sup>。

大きな開口部に、200 mm程度の短いダクトを格子状に積み上げ、それぞれのダクト内に独立した単チャンネルの ANC システムを組み込んだのが、**AAF (Active Acoustic Filter)** である。ファンの広帯域音のように近傍で波面が明確でない音源に対しても、ダクトを通すことにより、明確な波面が形成され、効果的な消音を可能にしている。また、ダクト径を 100 mm とすることにより、2kHz 程度まで減音を可能としている<sup>[64,65]</sup>。これにより、ラジエータファンや換気ファンの近傍に設置可能な薄い消音フィルタの実現が期待される。

以上の分散制御の成功例は、高速信号処理により、フィードフォワード制御における参照マイクロホンと制御スピーカの距離を大幅に短くしても因果律が満足できることに依るところが大きい。そこで、さらなる高速処理を狙って、**FPGA (Field Programmable Gate Array)** を用いた **ANC コントローラ** の開発に取り組んでいる<sup>[66]</sup>。これは将来の革新的 ANC につながるものと期待している。

ANC の研究開発としては他に、下記のようなユニークな課題に取り組んできている。まず、ANC 技術を応用した **カラオケでの完全ハウリング防止装置** である。この開発では、単にあらゆる条件においてマイクロホン・スピーカ間のハウリングを防止するだけでなく、カラオケ装置として歌い手の臨場感を阻害しないことにも成功した<sup>[67]</sup>。次に、企業時代に単チャンネルシステムを開発した周期音を対象にした波形同期法を多チャンネルシステムに発展させ、移動する人間の両耳元を部屋に設置した固定スピーカで消音する **AAC (Active Acoustic Cap)** の開発を行っている<sup>[68]</sup>。更に、床衝撃音に対しては、受音室でのこもり音が問題であることに着目し、**フィードバック制御による床衝撃音のこもり対策** に取り組んでいる<sup>[69]</sup>。また、最近では、携帯電話通話音声も隣人に迷惑をかけていることに注目し、ANC 技術を応用し、音声を通話相手には届けるが周囲に漏らさない **Voice Shutter** の開発も手掛けている。



図 21 後置静翼制御機構を用いた UAV

#### 4. 4 ロボメカ関係

UFOのような飛行をする飛行体の開発は学生時代からの夢であった。大学に入って何か新しいことを始めたいと思い、その開発に取り組んだ。当初は後述の DaVinci プロジェクトの一環として取り組み、種々の形状を検討した。今では UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の位置づけで、**後置静翼で反トルクを補償する、テールロータが必要なヘリコプターに似た機体を開発**している。図 21 参照。本飛行体は軸対象でジャイロ効果による安定したホバリング性能が期待できる。何とか今年度中に飛び立って欲しいものである。

私が所属するのは計測制御工学研究室 (MCS Lab.) であるから、本来はその制御が研究対象である。‘空’を一つのキーワードとし、ビジョンセンサを用いた自立飛行制御や飛行体から伸びるマニピュレータの制御などを手掛けている。また最近では、草抜き機や生活支援ロボット等、生活の質向上に関与するロボットも研究対象になってきている。ただし、これらの制御については、もっぱら准教授や助教の先生に頼っており、私はミーティングで口を出す程度である。

#### 4. 5 研究資金

上記の研究開発は基本的には外部資金で実施した。まず科学研究費であるが、「アクティブ音響シールドに関する基礎研究」と「多チャンネル波形同期法を用いたアクティブ移動消音に関する基礎研究」の 2 件 (いずれも基盤研究 C) を獲得することができた。JST (科学技術振興機構) の予算としては、いずれもシーズ発掘レベルのものであるが、「植毛を用いたファン低騒音化技術の開発」、「空気圧を利用した薄膜軽量遮音構造の開発」の 2 件が採択された。



しかし、最も大きいのは、企業との共同研究、奨学寄付金等、企業からの資金である。11年間で延べ21社からトータル60百万円を超える研究資金をいただいている。中でも3年以上継続が4社、5年以上継続が3社、10年間継続して共同研究を実施している企業も1社ある。これら、継続して研究開発を続けられるのは、当方がそれなりのアウトプットを出し、相手企業の期待にある程度応えられている証しであると自負している。実際に、研究に従事した学生に感謝したい。

## 5. 大学での活動

### 5. 1 教育

正直言って、私は教育に関してはあまり大きいことは言えない。30年間大学から遠ざかっているうちに大学の教育環境は全く変わってしまっていた。分からないのは学ぶ側の責任ではなく、教える側の責任になってしまっていた。また授業に出席しなければならないというのも不思議に感じた。単位が欲しければその人なりの方法で勉強して試験に合格すれば良い。学生にもっと「**学び取る**」という姿勢を持ってほしい。もしかしてこのような学生が少ない責任は、このような甘えた制度を作った我々の側にあるのかもしれない。

それはさておき、今だから言えることであるが、最初の3年間は、教科書の知識を間違いなく教えるだけで精一杯であった。担当した科目が制御工学、確率統計学で、私自身ほぼ一からの勉強であった。4年目以降学問の体系が少し見えてきて、徐々に余裕が出てきたようである。しかし、これらの講義は所詮知識の伝授である。本来学生が教科書を読んで、分からないところを聞きに来るだけで済む話とも思える。

私が少しでも「教育ができたな」と感じるのは、実践プロジェクトと卒研、修論指導である。課題の掘り起こし方、分析とアプローチの仕方、研究計画、実験計画の立て方、データの見方、**物理現象の洞察**、纏め方、プレゼンの仕方、相手とのコミュニケーションの取り方、等実践的に指導したつもりである。個々の学生の性格や能力に合わせて、指導の仕方も種々変えるように努力した。特に重要と思ったことはモチベーションの与え方で、本人さえやる気になれば、学生は見違えるように成長するものである。

### 5. 2 ものづくり教育実践センター

2008年4月～2012年3月まで、私は工学部ものづくり教育実践センター長を務めさせていただいた。就任当初は、右も左もわからず、継続の特別教育研究予算もあったこともあり、前任の早川教授がひかれたレールの上を歩いた。ただ、週1回関係者全員でミーティングを行い、そのあと一緒に弁当を食べることにより、センターとしての団結力を高める努力をした。その中で、センターの主な役割は、「実践プロジェクトを工学部全体に広め人間力豊かな人材を育てること」、「委託生産工事の依頼を工学部全体さらに大学全体に広めること」、「学生自主ものづくり工房の利用率を高め、学生ものづくりサークル活動を支援すること」であると確認していった。その目標は徐々に達成され、機械の実習工場から工学部のものづくりセンター、ひいては全学のものづくり教育実践センターとして認知されるようになってきている。

私の就任期間中1件だけ外部からの委託生産工事を行った。鳥取市からの依頼で風紋発生風洞を製作したのである。本センターの業務であるかどうか少し悩んだが、公的内容であり、地域貢献の一つと考えて実施した。技術職員の方はものづくりのプロとはいえ、風洞に関しては素人である。うまくいくかどうか心配であったが、昔の経験を思い出して書いた私の簡単なポンチ絵を基に、見事に風洞を作り上げてくださった。試運転で見事風紋が発生したときは感動のものであった。この風洞は、鳥取砂丘ジオパークセンターで毎日風紋を発生し続けている(図22参照)。ちなみに、この風洞は風洞メーカーに依頼すると数百万円はかかる代物であるが、センターでは百万円強で収めることができた。



図 22 風紋発生風洞装置



特別教育研究予算が2010年3月で切れてしまうということで、次の予算を獲得すべく概算要求を案画した。その中でセンターの全学化に向けて色々画策したがかなわず、結果的には「**総合的な視点に立った先進的ものづくり教育プログラムの開発**」(2011年4月～2016年3月)が特別教育研究プログラムとして採択された。これは、学際的な問題解決型の総合的なものづくり教育を通して、鳥取大学の教育グランドデザインである創造性豊かな「人間力」の向上を図り、1つの専門性にとらわれない社会に役立つ多角的マインドを持った人間力豊かな人材を育成する教育プログラムの開発を目指すものである。現在2年目に入っているが、このプロジェクトに加わっていただいた4人の特任教員を中心に、「**ものづくりとは、アイデアを形にすること**」と定義し、幅広いものづくり教育を体系的に開講しつつある。完了時にはこの体系的な教育プログラムを完成させ、鳥取大学の売りの一つとして継続的に実施できるようになること、またその内容を鳥大発として全国の大学に普及させることを期待したい。

これらのセンターの活動を強力に推進してくれたのが、長島助教(現、産学・地域連携推進機構准教授)、島田助教(現、大分大学講師)、三浦助教の3人である。私は4年間の間にたまたまこの3人と一緒に仕事をするようになったが、それぞれ非常に優秀で、上記は彼らの業績に負うところが大きい。

### 5.3 DaVinci プロジェクト

大学に移った当時、企業との文化の違いに種々カルチャーショックを受けた。その中で、大学は個々にはポテンシャルの高い人の集まりだが、それぞれバラバラで、チームとしての力がほとんど発揮できていない点が特に気になった。プロジェクトで物事を進める楽しさと効果を皆さんに経験してほしいと思っていた矢先、21世紀COEプログラムの募集があり、怖いもの知らずで、機械、応数、物質、知能、電気等多くの先生に声をかけ、「未来Vehicleプログラム」を作り上げ応募した。図23に当時の未来Vehicleのコンセプト図を示すが、今見ると顔から火が出る思いである。

案の定不採択になったが、これを機に仲間が集まって種々議論し、一つの目標に向かって研究開発を進めていく重要性に対する認識が高まり、現在の**DaVinci プロジェクト**につながったと思っている。そういう訳でDaVinci プロジェクトは当初、

新しい飛行体を作ろうということで、関係者が分担して研究開発を進めていたが、研究室の研究テーマとしてなかなか馴染まない研究室もあり、次第に、各研究室の関連テーマ研究テーマを発表し、議論する場に変遷していった。ただ、教員と学生が一緒になってワイワイ議論するというスタイルは踏襲している。

最近では、学生の中にもものづくりサークルが芽生え、彼らの活動をフォローし、支援するのが主な活動となりつつある。カルマンプロジェクトは学生室内飛行ロボット選手権での活躍を目指しており、宇宙研究会(T-SATプロジェクト)は最終的には大学発小型衛星の打ち上げを目指し、今年度は能代宇宙イベントに参加した。学部の学生も増え、面倒を見る若い先生方にも加わっていただき、毎月第1木曜日は第1ゼミ室が溢れんばかりである。

このようにDaVinciプロジェクトの形態も次第に変わってきている。最近では参加していただいている若手教員の中で、「一緒に何かやろうや!」との話も出つつあると聞く。これこそが最初に意図したことであり、今後ますますそのような動きが出てくることを期待したい。



図 23 未来 Vehicle 'DaVinci' のコンセプト



#### 5. 4 学会活動

私が所属している学会は、日本機械学会、日本音響学会、日本騒音制御工学会、米国航空宇宙学会（AIAA）である。中でも、日本機械学会と日本騒音制御工学会が活動の中心で、年齢を重ねるとともにいろいろな役どころが回ってきた。

日本機械学会では2007年度、2008年度とそれぞれ**環境工学部門副部門長、部門長**を務めた。また2009年度、2010年度とそれぞれ**中国四国副支部長、支部長**を務めた。いずれも就任時赤字体質であり、その立て直しに努力したことが記憶に残っている。また、我々の研究室では、卒研生全員に3月に行われる中国四国支部学生大会卒研発表会での発表をノルマとしており、会員増強にも貢献している。

日本騒音制御工学会では、何期か理事を務めているが、2010～2011年度に**研究部会長**を務め、研究発表会などのお世話をした。同時期に、騒音制御の代表的な国際学会である Internoise2011 を大阪で開催することになり、**Technical Program Co-chair** として、全世界から寄せられる1000件近い論文をアレンジし、プログラムの作成を行った。東日本大震災の年であり、開催が危ぶまれたが、無事終了し大任を果たすことができた。その時は大変だったが、あとで振り返ればよい経験をさせていただいたと思っている。

#### 6. エピローグ

以上、振り返ってみると我ながら色々なことをやってきたと感心する。それぞれ**楽しんだし、仕事に感動を味わうことができた**。色々な人、ものとの出会い、**機会を前向きにとらえ、本気で取り組み自分のものにしていったのが良かったのか**などと思う。

機械の低騒音化の仕事は、これまでの騒音対策（マイナスをゼロに戻す技術）から音響設計（‘らしい音’の実現；プラス（付加価値）を付ける技術）に移ってきている。**物理現象を追いかけていけばそこに必然的な答えが見えてくる**と思う。まだまだ新しいアイデアが生まれることを期待したい。

私はエンジニアの喜びは、自分のアイデアが基礎試験で検証され、試作が成功し、製品開発につながり、商品になり、売れて利益が上がって初めて味わえるものであると思っている。これは取りも直さず自分のアイデアが世の中に受け入れられ、

世の中の人々の役に立ったことの証明であろう。しかし後流に行くほどハードルが高くなる。私が携われたのは高々製品開発止まりで、本当に世の中の役に立ったのか、不安をぬぐえない。私は、大学に入ってから大学と企業の橋渡しを使命として取り組んだが、今後、基礎研究だけでなく、実践的な研究もして、成果を企業の製品開発に結び付ける活動を行ってくれる研究者が増えることを期待したい。

さて、これから何をしようか？色々やりたいことはあるが、やはり、どうしたら音が静かになるかを考え続けているのではないだろうか。相田みつをの言葉を借りて、「**一生感動、一生青春、生涯一技師**」で過ごしたい。

#### 謝辞

最初に、私がこの分野に入るきっかけを与えてくださり、丁寧にご指導いただいた、斎藤保夫様、白木万博様はじめ、三菱重工時代の先輩、同輩、後輩諸氏に感謝します。楽しい会社生活でした。

大学に移ってからは、学生に若さと元気をもらいました。有難うございました。また、大学に不慣れな私に対して、良い面も悪い面も含め、大学とはこういうところだと教えていただいた工学研究科、中でも機械工学講座の教員、職員の皆様に感謝します。

計測制御工学研究室（MCS Lab.）で一緒に教育研究に携わった仲間、後藤知伸教授、伊藤和寿教授、和田信敬准教授、金森直希元助教、竹歳大樹技術職員、山本さちこ事務職員に感謝します。皆様のおかげで、研究が進展し、学生が育ち、無事研究室を運営することができました。

ものづくり教育実践センターでお世話になった、長島正明准教授、島田和典講師、三浦政司助教、技術職員の皆様、特任教員の皆様に感謝します。皆様のおかげで、センターを軌道にのせ、運営することができました。

共同研究などを一緒に行わせていただいた企業の皆様に感謝します。担当した学生たちも良い経験をさせていただきました。

最後に、私の我儘を支えてくれた妻と子供たち孫たちに感謝します。週末の種々のイベントが私をリフレッシュさせてくれました。

皆様、まだまだ頑張りますので、今後ともよろしく願います。



## 参考文献

- [1] Nishimura, M. : Ionization relaxation in shock heated argon, 修士論文 (京都大学), 1972
- [2] 西村正治, 山口正博 : 新交通システムの騒音源とその対策, 日本音響学会講演論文集平成4年3月, pp. 619-620, 1992
- [3] Nishimura, M. and Ikeda, K. : Reduction of sound reflection coefficient at open end by using porous side wall, *Journal of Environment and Engineering*, Vol.3, No.2, pp.351-362, 2008
- [4] Nishimura, M., Kudo, T., Nakagawa, K., Maruoka, A., Zenda, Y. and Nishioka, M. : Development of quieting techniques for wind tunnel, *Proc. of Internoise97*, pp.379-382, 1997
- [5] 西村正治, 片岡正純, 山口勉, 松崎克也, : 大音響発生装置の開発, 第8回流力騒音シンポジウム予稿集, 1988
- [6] Mori, T., Komatsu, Y., Kaneko, H., Sato, R., Yakushi, R. and Iyota, M. : Hydrodynamic design of the Flow Noise Simulator, *Proc. of FEDSM03, 4<sup>th</sup> ASME/JSME Fluids Engineering Conference*, FEDSM2003-45304, 2003
- [7] Kudo, T., Nishimura, N., Sawada, S., Mori, T. and Sato, R. : Noise prediction of the cavitation tunnel, *Proc. of FEDSM03, 4<sup>th</sup> ASME/JSME Fluids Engineering Conference*, FEDSM2003-45305, 2003
- [8] Yamaguchi, N., Nishimura, M., Tominaga, T. and Kataoka, M. : Broadband noise in axial-fan blade cascade, *MHI Technical Review*, Vol.15, No.2, 1978
- [9] 西村正治, 深津智, 谷口裕 : 蒸気放出用サイレンサ用多孔質金属ディフューザの開発, 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, pp. 201-204, 1989. 9
- [10] 西村正治, 深津智 : 多孔質金属利用低騒音弁の開発, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, pp. 154-156, 1991. 8
- [11] 柴田勝彦, 西村正治, 五十嵐一弘 : 高速走行車両の車外騒音, 三菱重工技報, Vol. 29, No. 6, 1992
- [12] 西村正治, 藤田勝久, 長谷川直幹 : 管群共鳴音の発生限界判別式に関する一考察, 第44回応用力学連合講演会講演論文集, pp. 325-326, 1995
- [13] 西村正治, 長谷川直幹 : 管群共鳴音の発生限界に関する研究 (第二報 : 音場のダンピング調整による発生限界の把握), 日本機械学会関西支部第255回講演論文集, pp. 79-80, 1997
- [14] 斎藤保夫, 西村正治, 深津智, 鶴飼修, 片山圭一 : 内張りダクトの減音量に関する研究, 三菱重工技報, Vol. 15, No. 3, 1978
- [15] 西村正治 : 消音器の基礎と実際, 日本音響学会誌, Vol. 56, No. 12, pp. 839-844, 2000
- [16] 西村正治, 深津智, 泉山和雄, 長谷川素由 : 伝達マトリックス法に基づく実験的音響管路解析の研究 (第1報, 管路要素の伝達マトリックスの計測手法), 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 54, No. 504, pp. 1740-1746, 1988
- [17] 西村正治, 深津智, 泉山和雄, 長谷川素由 : 伝達マトリックス法に基づく実験的音響管路解析の研究 (第2報, 並列回路モデル化と音源インピーダンスの計測), 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 54, No. 504, pp. 1747-1752, 1988
- [18] 西村正治, 林泰道, 北川和夫, 長谷川素由 : 音響パワーバランスに基づいたダクト騒音予測法の研究, 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 55, No. 517, pp. 2764-2771, 1989
- [19] 西村正治 : ダクト系での音響伝ば解析とその消音対策法に関する研究, 博士論文 (姫路工業大学), 1990
- [20] 西村正治 : 21世紀の静粛化技術, 日本機械学会誌, Vol. 104, No. 995, pp. 693-697, 2001
- [21] Hisashima, S., Tomimasu, K. and Nishimura, M. : Analysis and evaluation of the quality of air conditioner noise, *MHI Technical Review*, Vol.23, No.3, 1986
- [22] Nishimura, M., Fukatsu, S. and Akamatsu, K. : Measurement of transfer matrices of duct elements and source impedances, using the pair-microphones technique, *Proc. of Internoise'83*, pp.395-398, 1983
- [23] Nishimura, M. and Akamatsu, K. : A simple method to analyze fast fluctuating signal, *Proc. of 11<sup>th</sup> I.C.A.*, 1983
- [24] Ross, C.F. : An algorithm for designing a broad band active sound control system, *J. of Sound & Vib.* Vol.80, pp.373-380, 1982
- [25] 西村正治, 新井隆範 : ダクト出口放射音のアクティブコントロール, 日本音響学会誌, Vol. 45, No. 9, pp. 672-680, 1989
- [26] 西村正治, 新井隆範 : 閉空間のアクティブノイズコントロール (その1) 波形同期法による周期音の制御, 日本音響学会講演論文集, pp. 393-394, 1988. 10
- [27] Iwata, H., Nishimura, M., Aoi, F., Abe, M. and Watabe, S. : Development of active noise control duct system, *Proc. of International Symposium on Active Control of Sound and Vibration*, pp.493-496, 1991
- [28] Ohnuma, T., Sugimura, J., Konuma, Y., Nishimura, M.



- and Arai, T. : Active control of exhaust noise of diesel engine by Wave Synthesis method, Proc. of International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, pp.267-272, 1991
- [29]西村正治, 林洋一郎, 宮脇一弘, 新井隆範: ディーゼルエンジン排気音用アクティブ消音器の開発, 日本機械学会第8回環境工学総合シンポジウム'98講演論文集, pp.66-68, 1998
- [30]Nishimura, M. : Some problems of active noise control for practical use, Proc. of International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, pp.157-164, 1991
- [31]Nishimura, M., Matsunaga, Y. and Hata, S. : Multi-timing Synchronized Multiple Error Filtered-X-LMS algorithm and its application for reducing cab noise, Proc. of ACTIVE95, pp.985-992, 1995
- [32]柴田勝彦, 上野篤, 松崎克也, 山本圭子, 西村正治, 新井隆範: ヘリコプター機内音のアクティブ音響制御, 日本航空宇宙学会第30回関西中部支部合同秋季大会講演論文集, 1991.10
- [33]Nishimura, M., Ohnishi, K., Patrick, W.P., and Zander, A.C. : Development of Active Acoustic Treatment Phase I: Basic concept and development of AAT-Cell, Proc. of ACTIVE97, pp.319-330, 1997
- [34]Patrick, W.P., Zander, A.C., Mehta, P.G., Nishimura, M., and Ohnishi, K. : Development of Active Acoustic Treatment Phase 2: Duct test of AAT-Sheet, Proc. of ACTIVE97, pp.331-344, 1997
- [35]大西慶三, 寺西進, 西村正治, 上坂克巳, 大西博文: アクティブソフトエッジ遮音壁の基本コンセプトと無響室内実験による減音効果, 日本音響学会誌, Vol. 57, No. 2, pp.129-138, 2001
- [36]上坂克巳, 木村健治, 並河良治, 大西博文, 大西慶三, 寺西進, 西村正治: アクティブソフトエッジ遮音壁の開発と減音効果の評価, 日本音響学会誌, Vol. 58, No. 12, pp.753-760, 2002
- [37]大西慶三: 分散能動騒音制御を用いた屋外の騒音対策に関する研究, 博士論文(鳥取大学), 2008
- [38]Nishimura, M. and Fujita, K. : Active adaptive feedback control of sound field, JSME International Journal, Series C, Vol.37, No.3, pp.607-611, 1994
- [39]西村正治, 中川敬三, 泉山和雄, 大西慶三: 音響エネルギーフローの騒音対策への応用, 第2回音響インテンシティシンポジウム論文集, pp.162-171, 1988
- [40]Nishimura, M. and Goto, T. : Aerodynamic noise reduction by pile fabrics, Fluid Dynamic Research, Vol.42, (電子版 17pp), 2010
- [41]Nishimura, M., Goto, T. and Ito, T. : Study on reducing noise from a small axial cooling fan by using pile-fabrics, Proc. of Internoise2006, CD-ROM, 2006
- [42]Nishimura, M., Goto, T. and Kimura, A. : Study on reducing aerodynamic random noise from cavity, AIAA Paper, AIAA2008-2847, 2008
- [43]西村正治, 日名川武, 後藤知伸: スクープ整流板を用いたキャビティ音の低減, 日本機械学会2009年度年次大会講演論文集, pp.213-214, 2009
- [44]佐々木良太, 西村正治, 後藤知伸, 重森正宏, 秋下貞夫: 数値予測による垂音速噴流音の評価, 日本機械学会2012年度年次大会講演論文集, CD-ROM論文集, 2012
- [45]工藤敏文: 風洞の低騒音化技術に関する研究, 博士論文(鳥取大学), 2009
- [46]Ikeda, K., Matsuyama, K. and Nishimura, M. : Robust gas turbine combustor with acoustic liner, Journal of Thermal Science and Technology, Vol.7, No.1, pp199-210, 2012
- [47]西村正治, 中根卓治, 長田篤: 音響透過壁を活用した天井埋め込み型換気扇の騒音低減に関する研究, 日本機械学会第18回環境工学総合シンポジウム2008, CD-ROM論文集, 2008
- [48]山田大智, 松田知倫, 西村正治, 後藤知伸, 堀田勝治, 増井慎一, 戸根節男, 荒川優: 音響透過壁を用いた騒音低減に関する研究(カーエアコンダクトへの応用), 日本機械学会第21回環境工学総合シンポジウム2011, CD-ROM論文集, 2011
- [49]松田知倫, 西村正治, 長田篤: 音響透過壁を用いた騒音低減に関する研究(反射率に及ぼす加圧条件の影響), 日本機械学会第19回環境工学総合シンポジウム2009, CD-ROM論文集, 2009
- [50]西村正治, 糟谷秀太郎, 後藤知伸: 空気圧を利用した遮音量可変型軽量遮音構造の開発(第1報: 基礎試験), 日本機械学会論文集(B編) Vol. 78, No. 789, pp.949-953, 2012
- [51]Nishimura, M., Kuwahara, Y., Kasuya, S. and Goto, T. : Development of a light sound insulation structure with variable insulation performance by using air pressure, Proc. of Internoise2012, CD-ROM, 2012
- [52]栗山哲典, 西村正治, 後藤知伸: 多孔板の非線形音響特性に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第43期総会講演会講演論文集, pp.177-178, 2005
- [53]西村正治, 後藤知伸, 廣津誠, 田中丈晴, 坂本一朗, 桂直之: 消音ホイールカバーによるタイヤ騒音低減に関する研究(その2), 日本機械学会第16



- 回環境工学総合シンポジウム 2006 講演論文集, pp.89-92, 2006
- [54]田中丈晴, 坂本一朗, 西村正治, 後藤知伸, 中村重徳, 桂直之: 吸音ホイールカバーによるタイヤ道路騒音の低減, 日本機械学会第18回環境工学総合シンポジウム2008, CD-ROM 論文集, 2008
- [55]Kanamori, N., Nishimura, M. and Mishiro, T. : Feedback control of an active sound insulation unit, JSME International Journal, Series C, Vol.49, No.3, pp.663-669, 2006
- [56]大谷昌央, 西村正治, 伊藤和寿, 金森直希, 古屋敷憲之, 西谷伸介: 平面スピーカを用いたアクティブ遮音ユニットの開発, 日本機械学会 D&D Conference2008, CD-ROM 論文集, 2008
- [57]Umebayashi, Y., Nishimura, M., Kanamori, N. and Furuyashiki, N. : Basic research on active sound insulation unit for floor impact noise, Proc. of Internoise2006, CD-ROM, 2006
- [58]Nishimura, M., Ohnishi, K., Kanamori, N. and Ito, K. : Basic study on Active Acoustic Shielding, Proc. of Internoise2008, CD-ROM, 2008
- [59]Nishimura, M., Murao, T. and Wada, N. : Basic study on Active Acoustic Shielding : Phase 2 Noise reducing performance for a small open window, Proc. of Internoise2010, CD-ROM, 2010
- [60]Murao, T. and Nishimura, M. : Basic study on Active Acoustic Shielding : Phase 3 Improving noise reducing performance in low frequency region, Proc. of Internoise2011, CD-ROM, 2011
- [61]Murao, T., Nishimura, M. and Sakurama, K. : Basic study on Active Acoustic Shielding : Phase 4 Improving noise reducing performance in low frequency region - 2, Proc. of Internoise2012, CD-ROM, 2012
- [62]河崎博秋, 西村正治, 金森直希, 渡辺敏幸: 防音壁用 ANC システムの高性能化に関する基礎検討(第2報: 無響室実験), 日本機械学会第18回環境工学部門総合シンポジウム2008, CD-ROM 論文集, 2008
- [63]森本篤司, 村尾達也, 西村正治, 桜間一徳: アクティブ音響パーティションに関する基礎研究, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.69-72, 2012.9
- [64]松岡融矢, 西村正治, 金森直希, 李鍾先, 齋藤昌弘: ラジエータファン用アクティブ音響フィルターに関する基礎研究, 日本機械学会第19回環境工学総合シンポジウム2009, CD-ROM 論文集, 2009
- [65]松岡融矢, 西村正治, 和田信敬, 齋藤昌弘: FB, FF 制御を併用したラジエータファン用アクティブ音響フィルター, 日本機械学会中国四国支部第49期総会講演会講演論文集, pp.325-326, 2009
- [66]達可裕己, 西村正治, 茂木建二: FPGA を用いた ANC 用高速信号処理ボードの開発 (低周波域での減音効果の改善), 日本機械学会 D&D Conference2011, CD-ROM 論文集, 2011
- [67]水川洗一, 西村正治, 金森直希, 茂木建二: 音楽ソースを用いた拡声装置のハウリングキャンセラーに関する研究 (その2), 日本機械学会中国四国支部第45期総会講演会講演論文集, pp.291-292, 2007
- [68]Maeda, S., Nishimura, M. and Shigeki, K. : A basic study on ANC with multi-channel wave synthesis method, Proc. of Internoise2012, CD-ROM, 2012
- [69]田中俊博, 寺井健, 西村正治, 島田伸也: 受音室のアクティブノイズコントロールによる床衝撃音対策技術の開発, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, pp.65-68, 2012

(受理 平成24年10月29日)