

# 溶射騒音の能動制御の可能性について

九州大学大学院工学研究院  
雉本信哉

2009年9月24日

## 1 はじめに

日本溶射工業会・ハードフェーシング委員会から、能動的音響制御技術を用いて溶射騒音が抑制できないかとの依頼を受け、その可能性について調査を行ったものである。調査に先立ち、溶射作業の環境を理解するために工場見学と実際の騒音を聞き実態把握につとめた。作業内容(溶射装置)によって音の特性に大きな違いがあることや防音方法に差があることが判った。防音方法として一般的には、集塵装置を備えた溶射ブースが用いられているようであった。すなわち、工場建屋の中に溶射加工を行うスペースとして集塵装置を配置した溶射ブース、さらに窓越しに溶射設備を制御監視する制御室を備えている。溶射ブースは密閉性の強いドアおよび吸音材、遮音材を用いた防音壁構造となっている。溶射ブースの遮音性能は十分に高いものの、溶射装置によっては120dB(A)を超える騒音を発生するものもあるためブースのドアを閉めた状態であっても耳栓などの対策が必要であることがわかった。

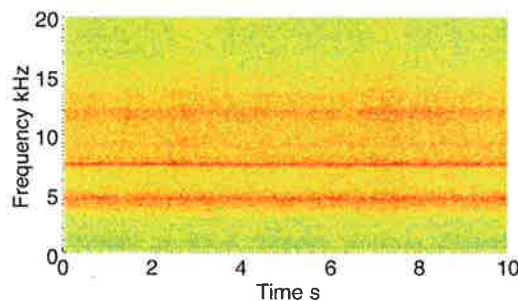


図 1 F4 のスペクトログラム

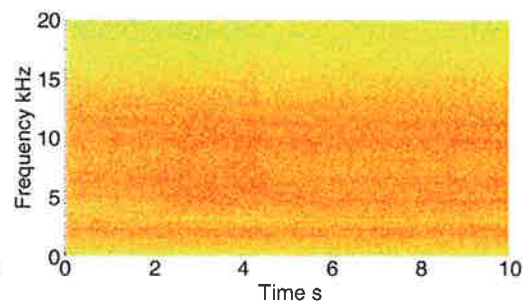


図 2 JP5000 のスペクトログラム

実際に溶射音を持つ音の特性を知るために溶射装置の中でも特に騒音の激しい機種(F4 および JP5000)を対象としてその溶射音を解析した。図1はF4、図2はJP5000のスペクトログラムである。図よりF4は15kHzまでの周波数域にいくつかの特徴的な周波数ピークを持つこと、また、JP5000は15kHzまでの広い周波数帯域で騒音が大きいことがわかる。

## 2 能動音響制御の原理および特徴

能動的音響制御は、図3に示すように、騒音に対して逆位相かつ同振幅の制御音を発生させ、両者の干渉によって消音する手法である。図のように、制御音を発生させる二次音源(制御音源)を必要

とするが、適切な制御音を発生させることができれば効果的な制御が可能となる。ただし、今回制御対象としているような大騒音の場合には、能動音響制御単独での制御では制御音源が発生すべき音量が非常に大きくなるため、通常のスピーカーなどでは実現が困難である。溶射ブースなど受動的な減音対策に能動騒音制御を併用することで更なる騒音低下を実現することが現実的な解決手段となる。制御音源としては、空間に固定されるものと、制御対象者とともに移動するものが想定できるが、

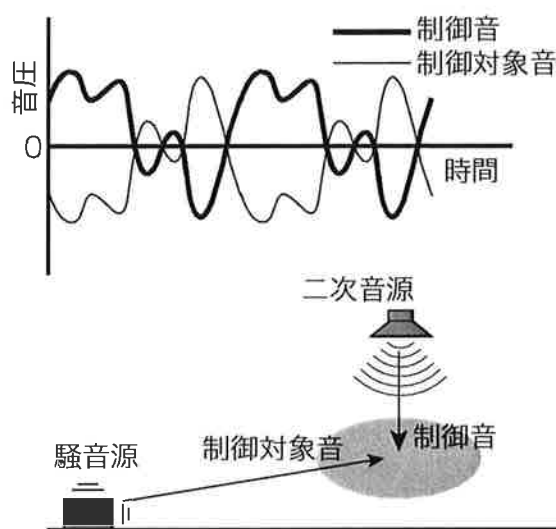


図 3 音波干渉

後者の例として、既に市販されており簡単に利用可能なものとして、ANC(ActiveNoiseCancelling)ヘッドフォンがある。当ハードフェーシング委員会では能動的音響制御を体感する目的で簡単に入手できる機種を選定して受動的音響制御と能動的音響制御を併用した減音効果を確認することとした。

### 3 受動的音響制御と能動的音響制御を併用した減音効果

#### 3.1 受動的音響制御効果を期待した溶射ブースによる減音

溶射ブースのドアを開閉したことによる違いを F4 および JP-5000 を対象に解析した。F4 の騒音周波数特性を図 4 に、JP5000 の騒音周波数特性を図 5 に示す。この際、騒音計による計測結果で 20dB 程度の減音効果を確認している。スペクトログラムによる表現では、図 6 から図 9 までのようになる。図 6 は F4 の騒音に対しブースドアを開けた場合、図 7 は閉じた場合である。同様に、図 8 および図 9 は JP5000 の騒音に対する結果である。これらの図よりいずれの機種の騒音ともに、6kHz 以上の高周波数帯域でブースドアを閉めることによる受動的遮音効果が確認できる。

#### 3.2 受動的音響制御効果を期待したイヤーマフによる減音

ANC ヘッドフォンを電源 OFF の状態で（すなわち ANC 機能を OFF にして）着用した場合を想定して実験を行った。耳全体を覆うタイプのヘッドフォンであるため、ANC が OFF の状態で

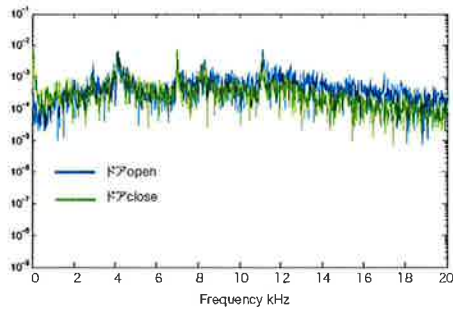


図 4 溶射ブースドア開閉による騒音の周波数特性変化 (対象機種：F4)

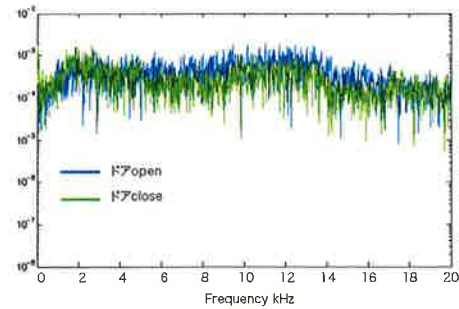


図 5 溶射ブースドア開閉による騒音の周波数特性変化 (対象機種：JP5000)

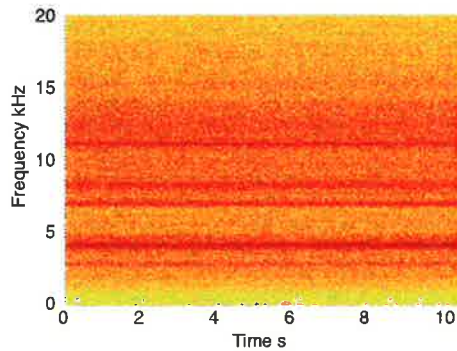


図 6 溶射ブースドアを開けたときのスペクトログラム (対象機種：F4)

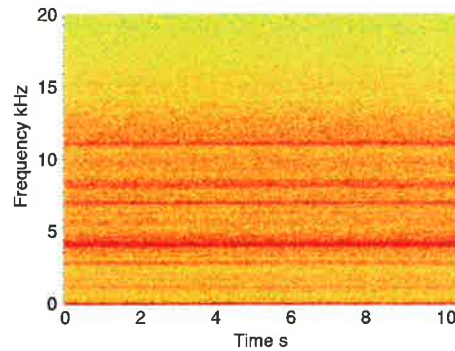


図 7 溶射ブースドアを閉めたときのスペクトログラム (対象機種：F4)

も受動的な遮音効果が期待できる。図 10 および図 11 に、F4 および JP5000 に対するヘッドフォンのみの受動的遮音効果を示す。両図より、受動的制御の効果として 4kHz 以上の周波数帯域での減音が確認できる。

### 3.3 受動的音響制御と能動的音響制御を併用した減音

さらに、低周波数帯域で効果が期待できる能動的音響制御を併用した場合の結果を図 12、図 13 に示す。使用した ANC ヘッドフォンには、制御特性により A,B,C の 3 種類のモードを選定可能であるが、モードごとの違いはそれほど顕著ではなかったため、本報告では、比較的広い周波数帯域を対象としたモード C の結果を掲載する。ANC ヘッドフォンの効果は 1kHz 以下の周波数帯域であるため、図 12、図 13 からはその効果が判然としない。そこで、JP5000 の騒音について、低周波数帯域を対象としたスペクトログラムを図 14 (制御前、ヘッドフォンは着用)、図 15 (制御後) に示す。これらの図を比較することで、主として 1kHz 以下の周波数帯域で能動的音響制御の効果が高いことが確認できる。

今回使用した市販のヘッドフォンは、電車内の騒音など通常の騒音を対象としたものであり、今回のような大音量の騒音を対象としたものではないが、周波数を限定すればその効果を十分に確認することができることがわかった。

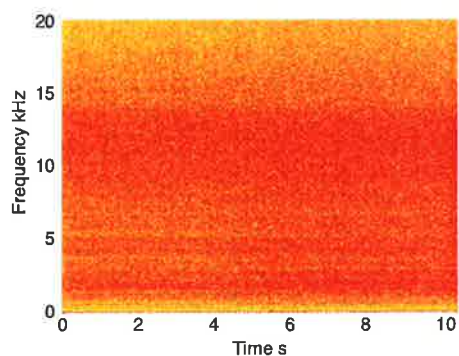


図 8 溶射ブースドアを開けたときのスペクトログラム (対象機種：JP5000)

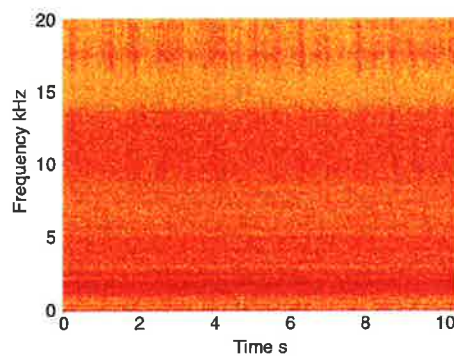


図 9 溶射ブースドアを閉めたときのスペクトログラム (対象機種：JP5000)

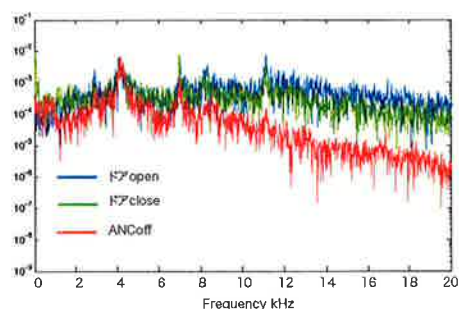


図 10 ヘッドフォンによる受動的遮音効果 (ANC 機能不使用, F4)

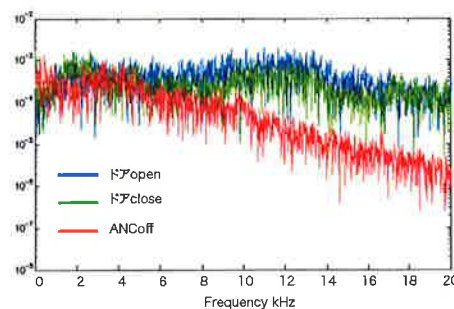


図 11 ヘッドフォンによる受動的遮音効果 (ANC 機能不使用, JP5000)

### 3.4 考察

今回の実験を通して、以下のことが確認できた。

1. ブースドアを閉めると 6kHz~10kHz 以上の高周波数で遮音効果がある。
2. ANC ヘッドフォンは OFF のままでも受動的な遮音効果があり、4kHz 以上で騒音が低減する。これは耳栓と同様の効果である。
3. ANC ヘッドフォンの能動的制御効果は主に 1kHz 以下である。

## 4 今後の検討課題

溶射騒音に対して、受動的手法、能動的手法を利用して、騒音の低減を試みた。その結果以下のことが明らかとなった。

1. 溶射ブース内での騒音は、非常に大きく (120dB 超) また、広い周波数帯域を持つ (20kHz 以上の超音波領域まで含む) ため、能動音響制御の対象音とするには、大音量を発生させる制御音源の実現が困難であり、制御に多大なエネルギーが必要となることから現実的ではない。

2. 多数の制御音源およびマイクロフォンを配置する必要があるため広い空間全域を制御することも現実的ではない。
3. 一方、現在使用している溶射ブースは遮音効果が高く、付随する溶射制御室程度の制限された空間であれば能動的音響制御の対象として考慮することは可能である。
4. 市販の ANC ヘッドフォンを試したところ、受動的な遮音効果と能動音響制御による効果のいずれも確認することができた。

このことから、溶射騒音に対して能動音響制御を適用するには、まずブースなどで受動的に減音した後に、制御室内など限定された制御空間を対象として実施することが現実的である。受動的手法と能動的音響制御手法を併用することで低周波数帯域から高周波数帯域までの効果的な騒音の低減が可能となる。

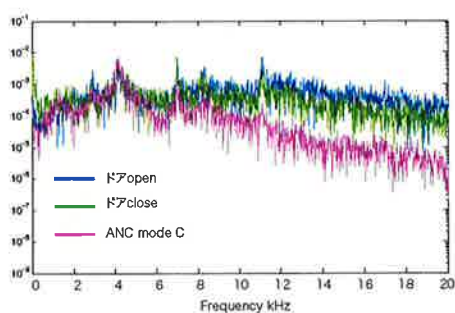


図 12 ANC ヘッドフォンの効果 (F4)

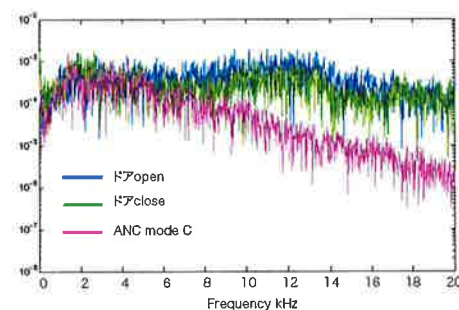


図 13 ANC ヘッドフォンの効果 (JP5000)

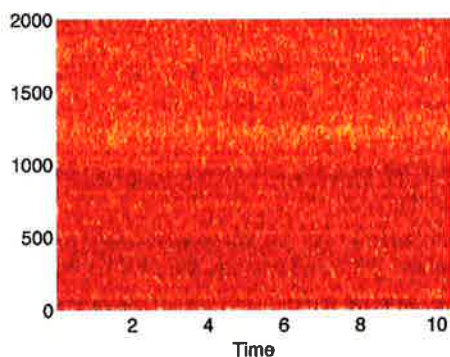


図 14 低周波数帯域スペクトログラム (制御なし, JP5000, 2kHz 以下)

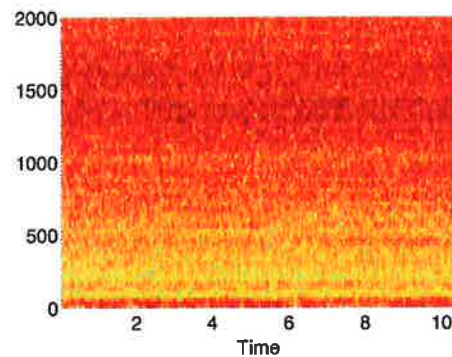


図 15 低周波数帯域スペクトログラム (制御あり, JP5000, 2kHz 以下)

(2009年9月)