

連載企画—音響学の温故知新—

アクティブノイズコントロール*

西村正治 (鳥取大学)**

43.20.+g

アクティブノイズコントロール (以下 ANC) は、古い音響学の歴史からみると、まだ赤ちゃんの時期かもしれない。それでも、P. Lueg が U.S. Patent [1] を 1936 年に取得してから 80 年近くなり、本格的に研究が始まった 1970 年代から 40 年が経過している。

私が ANC に出会ったのは、三菱重工業(株)の高砂研究所に勤め始めて 7 年が経過した 1979 年頃である。ある日、神戸造船所の船のエンジン設計担当者が新聞記事を持ってきて、「スピーカで逆位相の音を出して、排気音を消しているらしいが、こんなことできるのか?」と相談があったのがきっかけである。それは、イギリスの Essex 大学の G.B.B. Chaplin が開発した、船のエンジン排気低周波音用 ANC 消音器の記事で、収束するのに 30 秒くらいかかっていたように記憶している。「原理的にはできるはずですよ」と答え、早速単純なダクトで試験してみた。当時はアナログ装置しかなく、確かに音源がサイン波の場合は、増幅器と遅延回路を用いて消音が可能であったが、ランダム音に対しては消音できなかった。そこで、しばらく静観し、文献調査程度にとどめることとした。

調べた範囲では、上記特許の後にはあまり文献がなく、1953 年の H.F. Olson がアナログフィードバックで Quiet Zone を実現したものまで飛んでいた [2]。国内では城戸らが、変圧器を対象に、100 Hz とそのハーモニック音を周波数ごとに増幅器と遅延回路を用いて調整し、ある方向への放射音を低減したことを 1969 年に報告している [3]。ANC に関する文献が出始めたのは 1970 年代に入ってからなので、これは世界に先駆けた研究であったと、改めて尊敬する次第である。

ANC に対して、最初に音場としての理論的解釈

を与えたのが、フランスの M.J.M. Jessel [4] であろう。一度来日された折に講演を聞いたが、難解でよく理解できなかったことを記憶している。私が最も興味を持ったのは、M.A. Swinbanks の論文 [5] で、長いダクトの音の伝播とそれに対する ANC を理論的に解析し、安定した制御ができることを示していた。また、H.G. Leventhall ら [6] が、アナログ回路であるが、それを実験で検証していた。

1970 年代後半になるとデジタル技術が急速に進歩し、信号処理に実用できるようになってきた。C.F. Ross はダクト騒音に対して、参照マイクロホン出力から誤差マイクロホン出力まで、2 次音源への入力から参照マイクロホン出力及び誤差マイクロホン出力まで、のそれぞれの伝達関数を求めると、それからコントローラに持たすべき伝達関数が決まることを示し、またそれを適応的に求める手法も示している [7,8]。これにより、フィードフォワード制御が可能になり、広帯域のランダム音も制御できるようになった。なお、これは、現在主流となっている LMS アルゴリズムによる制御ではない。

私が本格的に ANC の研究開発に従事するようになったのは丁度この頃である。1983 年にエンジンバラで Internoise '83 が開催され、引き続きパリで 11th ICA が開催されることがあり、会社が無理をお願いし、初めての国際学会での発表と 3 週間の海外出張を認めてもらった。せっかくの機会なので、これまで勉強していた ANC の実態を見てこようと、上述の Swinbanks 氏と Ross 氏に手紙を出した。まだ e-mail のない時代で、論文に記載されている所属先宛に出したので、果たしてうまく届くかどうか分らず、また見も知らない東洋の若僧からの手紙を相手にしてくれるかどうか不安であったが、2 週間ぐらいたって、welcome の返事が来たときはほっとした。Swinbanks 氏は

* Active noise control.

** Masaharu Nishimura (Tottori University, Tottori, 680-8552), e-mail: mnishimura@mech.tottori-u.ac.jp

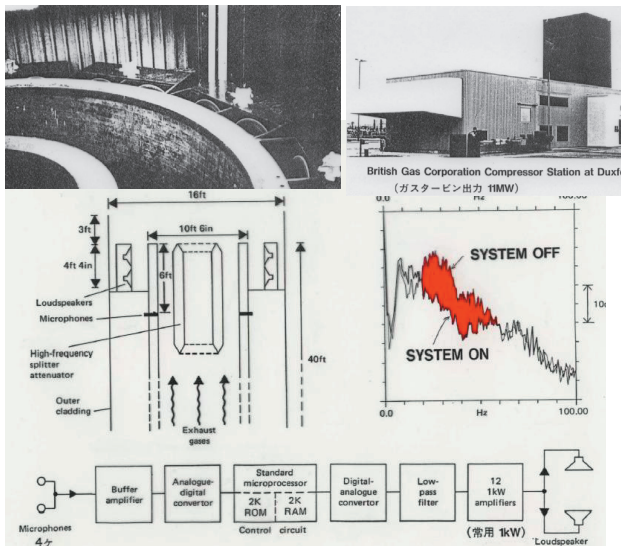


図-1 ガスタービン排気音用 ANC by C.F. Ross

当時ケンブリッジ大学近くの自宅のマンションで研究されており、マンションの1室で、ダクトのモデルを使って熱心に ANC の講義をしてくれたのを覚えている。

Ross 氏はベンチャ企業に所属しており、私をイギリスのガス公社が所有する出力 11 MW のガスタービン発電プラントに案内してくれた。そこには既に、排気低周波音を対策するために彼らが開発した ANC 消音器が設置されていた。(図-1 参照)。直径約 3 m のガスタービン排気煙突の出口周りに 72 個のラウドスピーカを設置し、30~60 Hz の低周波音を約 10 dB 消音していた。手法は上述のとおりであるが、コントローラに持たすべき伝達関数が決まると、それをインパルスレスポンスに直し、参照マイクロホン出力信号にたたみ込むだけの 1 チャンネルシステムであった。「これなら自分でもできる」と直感し、対象が自社の製品でもあるガスタービンだったこともあり、帰国後早速 ANC の研究開発に取り組んだ。その後 30 年間にわたってしぶとく ANC の研究開発に従事しているが、そのきっかけを与えてくれたのは正にこのプラントである。

Internoise '83 では、前述の Essex 大学から、エンジン排気音などの周期音に適用できる波形同期法の紹介とそのデモンストレーションがあった [9]。以前の新聞記事から格段に進歩しており、あっという間に消音したのがとても印象的であった。私は、初期の ANC の研究で、本手法のコントローラを作成し、種々適用を図った。マルチハーモニッ

クのピークスペクトルを 30 dB ほど低減できる魅力的な方法である。今も改めて見直し、研究を進めている。

この出張の最後にサザンプトンの ISVR を訪問した。このとき、空力騒音や振動評価など種々の研究について案内していただいたが、その中で、大柄の若い研究者が、バンタイプの大きな自動車の後部に大きなラウドスピーカを設置し、車内音の ANC 実験を行っていた。当時の写真を見ると、どうもそれは若き頃の Nelson 氏のようなのである。このように、この年の出張はその後の私の研究活動に大きな影響を与えた。

1980 年後半に入ると、B. Widrow が適応信号処理として LMS アルゴリズムを開発し、P.A. Nelson と S.J. Elliott が Filtered-X-LMS アルゴリズムに発展させ [10]、ANC は一気にブレイクした。一時期下火になったが、また最近見直されてきているように思う。最近の状況は、参考文献 [11] の特集記事にまとめられているので興味ある人は参照されたい。

文 献

- [1] P. Lueg, "Process of silencing sound oscillation," U.S. Patent No. 2043416 (1936).
- [2] H.F. Olsen and E.G. May, Electronic sound absorber, *J. Acoust. Soc. Am.*, 25, 1130-1136 (1953).
- [3] 城戸健一, 斧田誠一, "変圧器騒音自動制御の実施予備実験," 音響学会電気音響研資, EA69-6 (1969).
- [4] M.J.M. Jessel and G.A. Mangiante, "Active sound absorbers in an air duct," *J. Sound Vib.*, 23, 383-390 (1972).
- [5] M.A. Swinbanks, "The active control of sound propagation in long ducts," *J. Sound Vib.*, 27, 411-436 (1973).
- [6] J.H.B. Poole and H.G. Leventhall, "An experimental study of Swinbanks Method of active attenuation of sound in duct," *J. Sound Vib.*, 49, 257-266 (1976).
- [7] C.F. Ross, "An algorithm for designing a broad band active sound control system," *J. Sound Vib.*, 80, 373-380 (1982).
- [8] C.F. Ross, "An adaptive digital filter for broad-band active sound control," *J. Sound Vib.*, 80, 381-388 (1982).
- [9] G.B.B. Chaplin and R.A. Smith, "Waveform Synthesis: The Essex solution to repetitive noise and vibration," *Proc. Internoise '83*, pp. 399-402 (1983).
- [10] S.J. Elliott, I.M. Stothers and P.A. Nelson, "A multiple error algorithm and its application to active control of sound and vibration," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, ASSP-35, 1423-1434 (1987).
- [11] 西村正治ら, "特集; 音響制御の最前線—再び注目されるアクティブノイズコントロール," 計測と制御, 51, 1105-1173 (2012).