

大空間におけるAFC（音場支援）の再検証 —東京国際フォーラム ホールAの実施例—*

○宮崎秀生， 山下真次郎， 岸永伸二（ヤマハ ST 開発センター）

1 はじめに

東京国際フォーラムは 1996 年に竣工したホール、展示スペース、会議室、等からなる複合施設である^[1]。その中のホールAは 5,012 人収容の大規模ホールで、国際会議、講演会・式典、軽音楽コンサートを始め、クラシックコンサートやオペラ・バレエ公演まで多目的用途に利用されている。室内音響上は明瞭度を重視した仕様となっており、クラシック演奏への対応として残響感不足や大空間での音響上の問題点を改善しコンサートに最適な音場を実現するために AFC（Active Field Control：音場支援）システムが導入されている。開館当初より多くのコンサートで利用されてきており、ここ数年では GW 期間中に行われる音楽祭での利用など使用頻度も増えている。しかしシステムを構成する音響機器の老朽化に伴いノイズや設定パラメータがリセットされる等の問題が見られること、またこれまでに新しい AFC 機器や周辺機器が開発され各種の性能が格段と改善されていることなどもあり、開館 10 周年に合わせて機器を更新すると共に現場運営側からの要望に沿った新たな機能を追加した上でシステム全体の再調整を行った。本報ではシステムの概要及び AFC稼動時の室内音響特性の改善効果について述べる。平面図及び施設内部写真をそれぞれ Fig. 1、Photo 1 に示す。

2 ホール A の AFC システム概要

AFC は、音楽演奏時のホール音場における室内主観評価量である残響感、音量感、拡がり感、等を制御する目的で室内音響設計技術と電気音響・信号処理技術を統合した音場制御技術である。この技術を利用して音響設計の中で所望の音場を構成するための音響機器一式を AFC システムと呼ぶ。Fig. 2 に AFC

システムの概念図を示す。システムは基本的にマイク、スピーカ、シグナルプロセッサから構成され、スピーカとマイク間の音響帰還を利用することで聴感上の自然さを保持したまま音場を変化させることを特徴としている。また音響帰還ゲイン（ループゲイン）を大きくし安定かつ制御幅の広いシステムを得るために、EMR や fluc-FIR といった独自のハウリング抑制技術が導入されている^[2]。

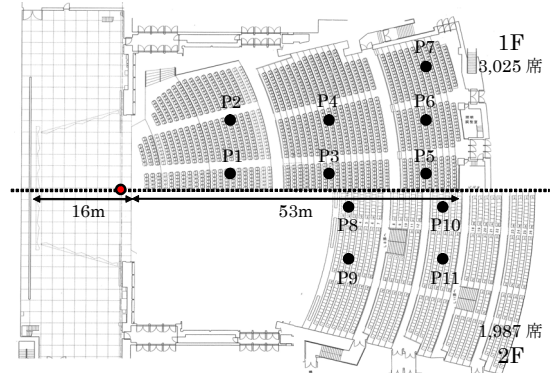


Fig. 1 Plan of Hall A

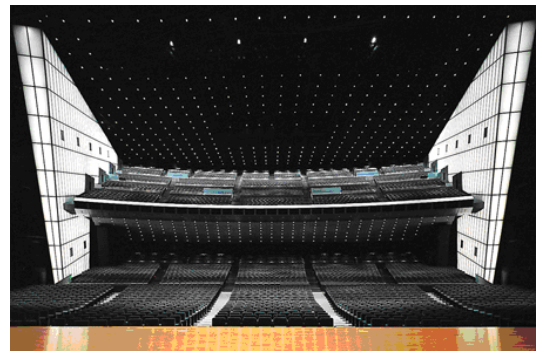


Photo 1 View from stage

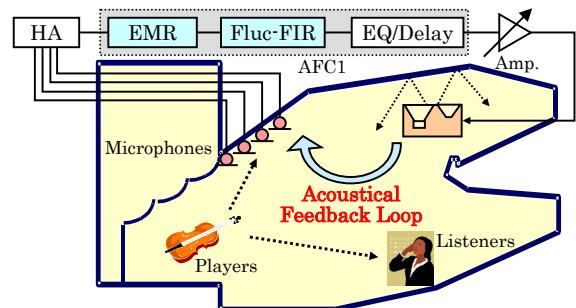


Fig. 2 Concept of AFC system

* Re-evaluation of AFC in a large space -Example at Tokyo International Forum: Hall A-, by MIYAZAKI, Hideo, YAMASHITA, Shinjiro, and KISHINAGA, Shinji (Yamaha Center for Advanced System Technologies).

ホール A の AFC システムは、音場の明瞭性重視による残響感不足、大容積での音量感や一体感の低下、バルコニー下音場の悪化、等の室内音響上の改善を目的とし、以下に示す複数の独立システム（系統）を組み合わせた構成としている（Fig. 3 参照）。

- ①残響（Rev）系統：舞台と客席の両天井に設置したマイクにより拡散音を收音し舞台内の音を客席に、客席の音をステージに戻す構成となっており、それぞれ音響帰還を利用して残響を延長すると共に両空間の音響エネルギーを交換し両音場間の均一化を図っている。
- ②初期反射音（ER）系統：単一指向性マイクにより演奏者の直接音成分を收音し、それぞれ拡がり感を支援する側方反射音としてウォールスピーカから、臨場感を支援する初期反射音として天井及びプロセニウムスピーカから、また低音の豊かさ（Warmth）を支援する低域の反射音としてサブウーハ（舞台内、天井、床下に設置）から反射音を付加している。
- ③バルコニー系統：客席主空間との一体感不足や両音場間の均一性を改善するために主空間で收音した音をバルコニー下音場へ伝送し主空間との音響的一体化を図っている。

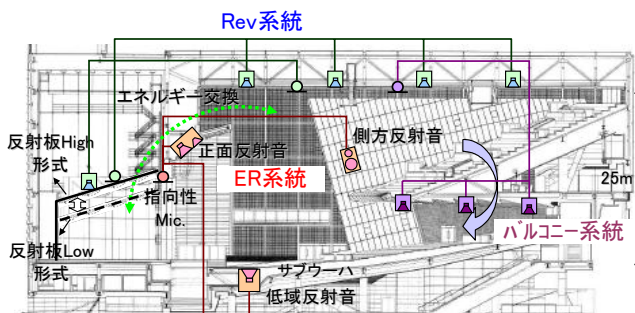


Fig. 3 Structure of AFC system at Hall A

3 AFC システムの改善点について

システム構成上は前章に示す設計コンセプトを踏襲してマイクとスピーカに関しては現状を維持（但し不良ユニット等は交換）し、構成機器の内、ヘッドアンプからアンプまでの機器および接続回線を一式更新している。以下に旧システムからの改善点と追加機能についてまとめる。

1) 制御幅の拡大およびノイズ対策

Fig. 4 にシステムブロック図を示す。信号処理部は全て最新機器（YAMAHA 製 AFC 1）に更新することで FIR のタップ数増加およびダイナミックレンジの増加により処理能力が

向上している。また周辺機器についてもデジタル機器／接続（DME64N、AD8HR、等）に更新することで S/N 比に関しても改善されている。

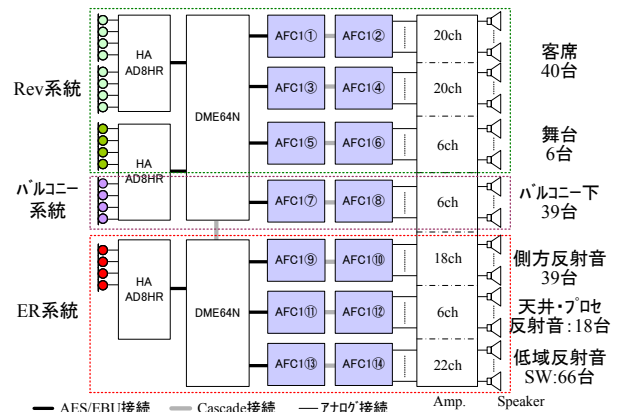


Fig. 4 System block of AFC system

2) 設定パターンの追加

オペラやバレエ公演といった設計時には想定外の幕設備形式時での利用が運営サイドから望まれており、今回新たな音場パターンを追加した。なお客席 Rev 系統については入力部を舞台内マイクに変わり ER 系のマイクを代用している。追加に伴い他のパターンも整理をし、Table 2 に示す様に各舞台形態について音量感増強パターンと、音量感に加えて残響感も増強する 2 パターンの計 6 パターンの音場を設定した。各パターンの目標値については基本的には設計当初の音場再現を前提とした上で関係者の意見を聴取しながら最適調整を行っている。

Table 1 Preset pattern of AFC system

	舞台形式	用途	音響性能
A	反射板 High	室内楽	・残響時間： 2.6 秒 ・音量感重視
B	反射板 High	大編成オーケストラ	・残響時間： 2.9 秒 ・残響感 + 音量感
C	反射板 Low	室内楽 ソロ演奏	・残響時間： 2.5 秒 ・音量感重視
D	反射板 Low	小編成オーケストラ	・残響時間： 2.8 秒 ・残響感
E	幕設備形式	バレエ、オペラ	・残響時間： 2.4 秒 ・音量感重視
F	幕設備形式	バレエ、オペラ	・残響時間： 2.7 秒 ・残響感 + 音量感

3) ユーザビリティの改善

Fig. 5 に制御系の概念図を示す。新たに無線 LAN とタブレット PC を利用したコントロールシステムを導入することで場内任意の場所で音響状態を聴感で確認しながらシステムの On/Off、パターンの切り替え、音場の微調

整、等のユーザーコントロールが可能となっている (Photo 2)。またシステム内の DME64N に入力の On/Off、ループの切り替え/モニターといった機能を組み込んであり、調整やメンテにも対応できるように攻勢されている。

4) 音場エリア間のバランスの制御機能

AFC システムのコントロールはパターン切り替えの他にループゲインの増減による音場の微調整機能を有する。本システムでは Fig. 6 に示すように系統間の相対関係を保ったまま連動してループゲインを増減させる 8 段階のメインの微調整機能 (トータルライブネス) に加え、舞台 Rev、バルコニー系統や各種 ER 系統について 10 段階で個別にゲイン調節が可能な機能 (個別ライブネス) を追加することで大空間内での音場エリア間バランスの制御幅を増強している。

4 オーケストラによる試奏と最適調整

システム調整時にはステージ上に設置した一次音源 (スピーカ) からの楽音再生音の試聴とインパルス応答等の測定を繰り返しながら全体のバランスを調整した。事前に関係者にヒアリングした結果、これまで音場に関して大きな問題点は無かったため基本的には設計当初の音場を調整の目標目安としている。反射板形式について一通りの調整が終了した段階でオーケストラに依頼して実際に様々な演奏形態 (交響曲、協奏曲、室内楽、等) で試奏を行い、タブレット PC を持ち場内を移動しながらパターンや系統間のバランスを切り替えて試聴確認を行った (Photo 2 参照)。その結果、音質の改善が聴感的に確認できた一方で、一次音源では確認できなかった調整要のポイントが幾つか明らかとなり、実音源による確認の重要度を改めて認識する結果となった。この理由としては音源の大きさや指向性が実音源とスピーカで異なることが影響していると考えられる。後日行った幕設備調整時に試聴結果を元に再度全体のバランスの微調整を行った。

5 測定結果

システム調整の終了後、AFC システムの改善効果を確認するためループゲイン特性及びインパルス応答による各種音響指標の測定を行った。

5.1 システムの安定性

Fig. 10 に各系統のクローズドループゲイン

特性を示す。全ての系統で -15dB 以下となっており旧システムと同程度の安定な系が得られている。

5.2 室内音響の改善効果について

1) 残響感の改善効果 (残響時間特性)

反射板 High 形式、幕設備形式時の残響時間の結果を Fig. 8 に示す。AFC システム使用時

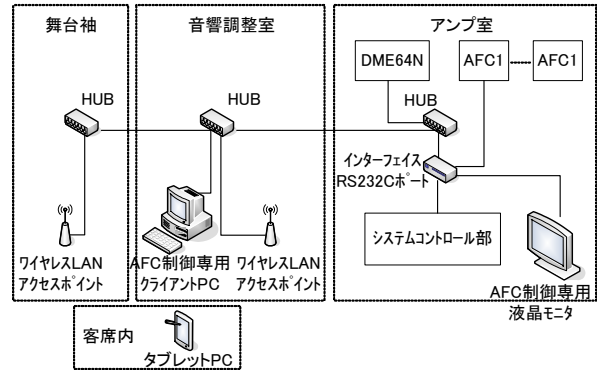


Fig. 5 Structure of AFC system control



Photo 2 System control using tablet PC

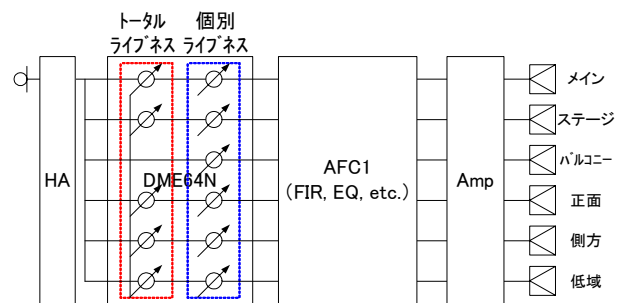


Fig. 6 Concept of total & individual liveness

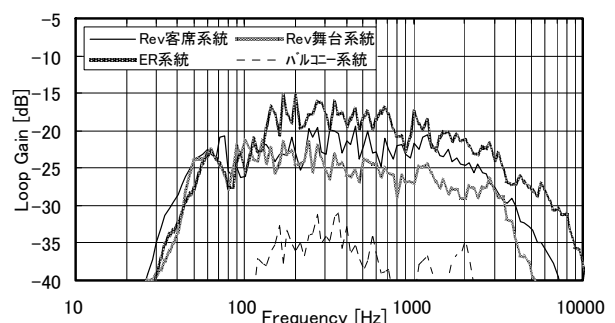


Fig. 7 Loop gain of each system

の残響時間は反射板 High 形式で、標準状態(トータルライブ6)で A パターンが 2.4 秒、B パターンが 2.7 秒と、システム Off の状態 (1.9 秒) に比べ約 1.5 倍程度まで延長されている。また周波数特性についても 125Hz、250Hz に見られる落ち込みが改善されている。幕設備形式 (E、F パターン) に関しても 2.0 秒から最大 2.8 秒まで幅広い可変幅を持っており、想定されるバレエやオペラ等のクラシック用途に対応した音場特性が得られている。

2) 音量感、均一感の改善効果 (G 特性)

Fig. 9 は A、B パターンについて G 値の距離減衰特性を理論値^[3]と比較したグラフである。理論値は残響時間 2 秒とした時に、容積を通常の 2 千人規模のホール (20,000m³) とした時と、ホール A と同規模 (55,000m³) とした時の値である。AFC を使用することで 3 ~ 5dB の改善効果が得られており、2 千人規模のホールと同等の音量感が得られている。図中赤で示したバルコニー下についても過剰減衰の改善効果が確認できる。また回帰直線の傾きが緩やかになっており音量感の均一化も確認できる。A と B を比較すると残響時間については効果に差があるのに対し (Fig. 8) G 特性はほぼ同様の特性となっており、音量感の改善効果を一定とし残響感を変化させるという設計意図通りの音場が得られている。

3) 初期反射音支援の効果

Fig. 10 に B パターンの LE5 を示す。Off で平均 7% の特性に対してほぼ全てのポイントで AFC を On にすることで 5% から最大で 10% の改善効果が見られる。大空間かつ扇形状のため側壁までの距離が遠く有効な側方反射音が得られない音場に対し、AFC により反射音密度が増え拡がり感が改善されている。

以上、AFC 導入の目的として想定した各音響改善項目について実現されていることが改めて確認できた。なお、これらの改善効果のレベルについては設計当初と同様の結果が得られていることも確認している。

6 むすび

今年も GW に音楽祭「ラ・フォル・ジュルネ・オ・ジャポン」が開催された。期間中に約 180 公演行われ延べ 106 万人の観客が来場した。ホール A でも約 30 公演行われ、その

全ての公演で AFC が使われた。ホール関係者からは、AFC の効果・音質が格段に改善された、以前あったデッドスポットが無くなった、等のコメントが聞かれた。今後更に様々なコンサートに使われることを期待したい。

謝辞

音響調整、試奏会、等を通じて舞台転換や時間調整にご苦労頂いたホール担当者、技術者の関係者各位に深謝いたします。

参考文献

- [1] 清水, 他, 建音研, AA97-56~62, 1997.
- [2] Miyazaki *et al.*, AES 115th Conv., 2003.
- [3] Barron, "Auditorium acoustics and architectural design," E & FN SPON, 1993.

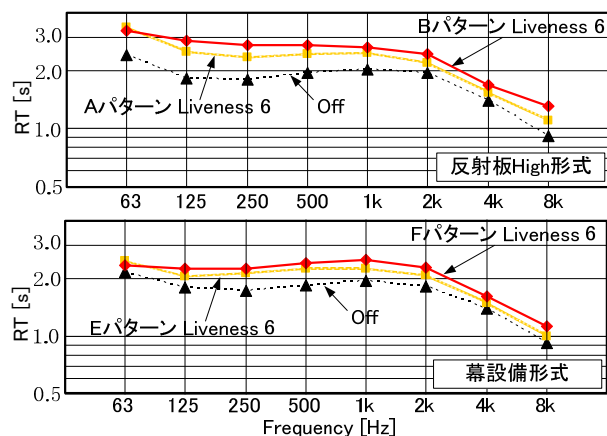


Fig. 8 Reverberation time with/without AFC

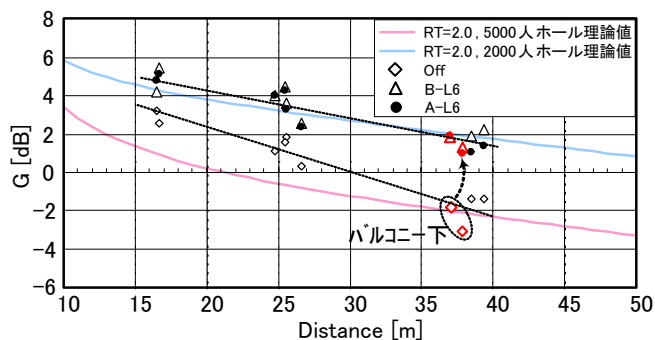


Fig. 9 G value with/without AFC

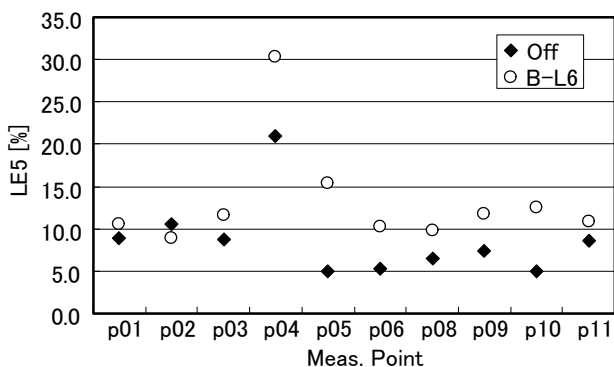


Fig. 10 LE5 value with/without AFC