

東京大学伊藤謝恩ホールの音響設計 —講堂の理想形と音楽利用の両立—*

○宮崎秀生, 山下真次郎, 岸永伸二 (ヤマハ株)

1 はじめに

伊藤国際学術研究センターは、伊藤雅俊氏（セブン&アイ・ホールディングス名誉会長）と伊藤伸子氏（同夫人）による東京大学への寄付により、社会と東京大学との関わりを深めるための社会連携及び国際交流拠点を目的として建設された。伊藤謝恩ホールは本センター地下階に位置する最大489席の講堂で、シンポジウム、国際学会、講演会などに利用される。筆者らは、このホールを中心に遮音・騒音制御、室内音響、電気音響について音響検討を実施した。施設外観を写真1に、施設全体の概要を表1に示す。

2 講堂空間としての最適設計

2.1 設計コンセプト

伊藤謝恩ホールの平面図を図1に、内観を写真2に示す。欧米の大学のように本格的かつ長寿命の建築とすることが寄付者の意向であった。この点を踏まえ、本ホールは講演など「スピーチに完全に集中できる音環境」を実現することをコンセプトとした。このために必要な静けさ、デッドで音響障害のない空間を前提に、十分に指向性が制御された明瞭で定位感のある高音質の音響設備を検討することで講堂としての音環境の理想形を追求した。以下に設計のポイントをまとめる。

写真2 伊藤謝恩ホール内観

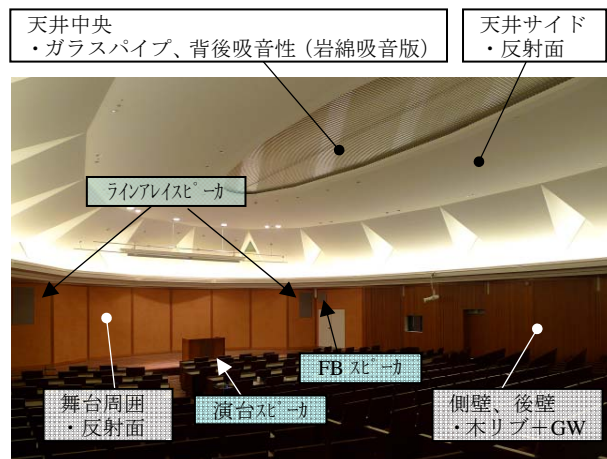


写真1 施設外観（桜広場より望む）



表1 施設全体概要

名称	: 伊藤国際学術研究センター
所在地	: 東京都文京区本郷 7-3-1
建築主	: 国立大学法人東京大学
設計・監理	: 香山壽夫建築研究所
音響設計	: ヤマハS T開発センター(当時)
施工	: 鹿島建設
構造	: RC造一部SRC造
階数	: 地下3階～5階
工期	: 2010年7月～2011年12月

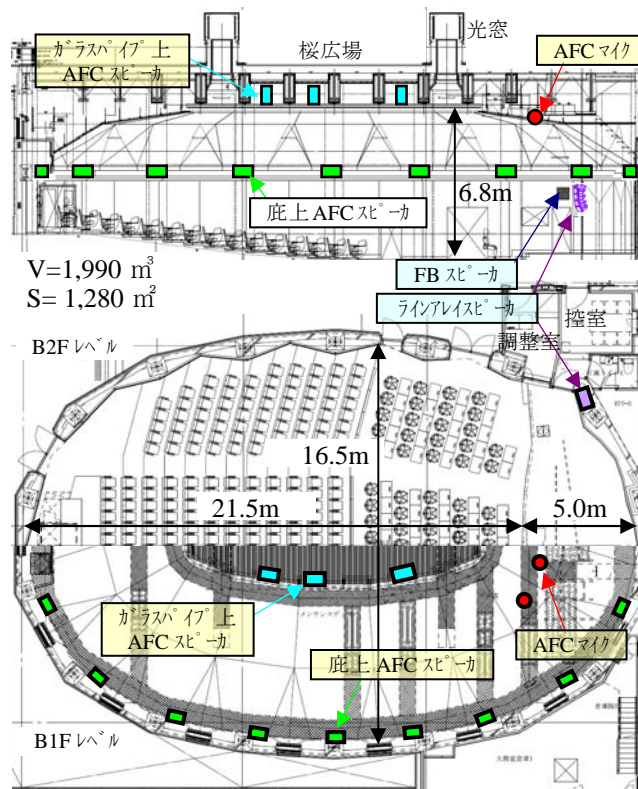


図1 伊藤謝恩ホール平断面図

* Acoustical Design of the Ito Hall –Realization of the two functions optimum for lectures and musical performances, by MIYAZAKI, Hideo, YAMASHITA, Shinjiro and KISHINAGA, Shinji (YAMAHA Corp.).

2.2 電気音響システム設計：明瞭な拡声

講演では、話者にとっては話し易く、聴者にとっては講演内容に集中できることが最も重要となる。そこで肉声での会話と同様の自然でリアルな拡声音を念頭に置いた音響設備を検討した。図2にシステム構成図を示す。

1) 明瞭性を重視したスピーカ構成

スピーカ構成は、どの客席においても講演に適した明瞭性と定位感が得られるように、距離減衰が少なく指向性が制御されていることを重視した。特にホールの内装は後述の通り、壁は吸音性、天井は反射性となっており、自然な定位感を得るためには上下方向の指向性を制御する必要があった。これらの理由から、メインスピーカとしてラインアレイ型スピーカを採用した(写真3)。また演台スピーカシステムの採用により、話者の位置に対して自然な音像定位を実現している(写真3)。図3に音響設備を用いたときの音圧分布(500-2kHz 平均値)及びSTI値を示す。音圧分布は、標準偏差が1.4dBと小さく、客席による差が小さく舞台から離れた点でも十分な音量が得られている。またSTIは平均値で0.71(Good)、偏差は0.02と、どの席に置いても高い明瞭度が得られている。

この他、話者の話し易さを考慮し固定のFBスピーカを設置している(写真3)。

2) 自然な音質による拡声

拡声時の音質は、スピーカの設置条件に大きく左右される。上述の各スピーカも建築的に埋め込まれており、自然な(スピーカ本来の性能を生かした)拡声のためにはその悪影響を取り除くことが求められた。そこで、細かな特性まで正確に補正が可能な、実時間畳み込み器を利用したFIR型補正フィルターをスピーカのプロセッサとして導入した^[1]。フィルター特性を決めるに当たっては、事前にスタジオ内にて試聴を行いながら各スピーカの目標特性を決めておき、施工後に現場で設置の影響を含めた応答を測定し、その結果と目標特性との差分値を補正フィルターに用いた(図4参照)。その上で、最終的には現場での試聴により微調整を行った。

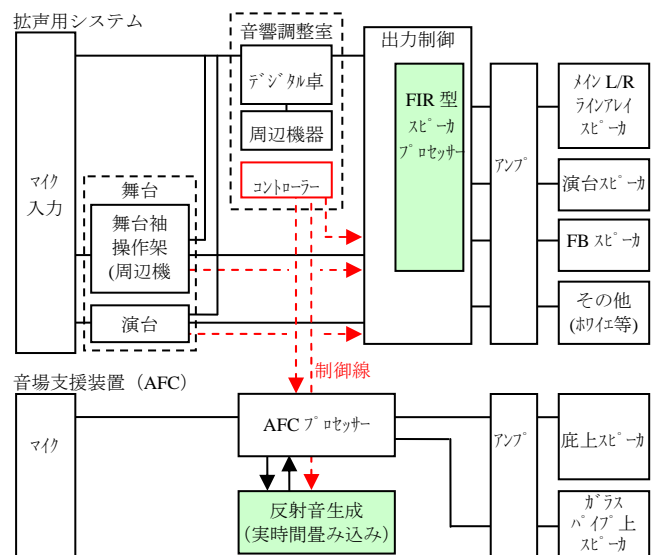


図2 電気音響システム構成図

写真3 舞台上スピーカ

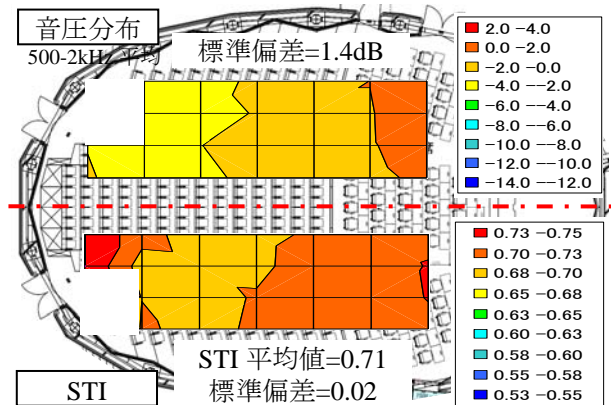
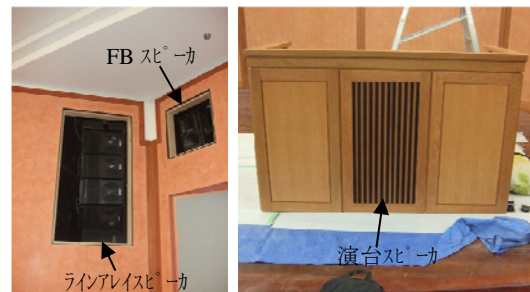


図3 音響設備使用時の音圧分布とSTI (音圧分布は最前列の音圧値で基準化)

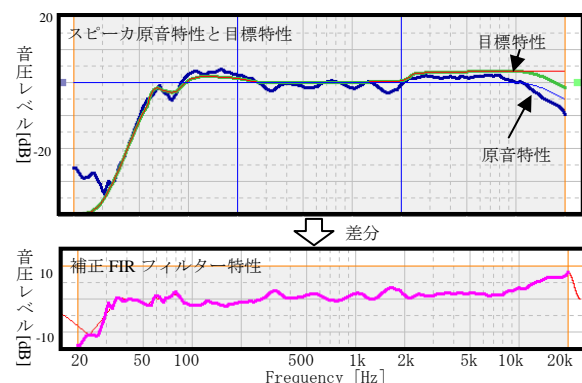


図4 FIR型補正フィルター

3) 簡易操作

ホールの性格上、様々な人に使われることより、誰にでも使い易いシステムが要求された。そこで、メイン音響調整卓にはシーン記録や呼び出しが簡易で且つ高品質伝送可能な小型のデジタル音響調整卓を採用した。また、舞台袖操作架や演台に音響・映像・照明の制御盤を集約することで、メイン調整卓を用いずに講演者自身が単独で制御可能としている。(図2システム構成図参照)

2.3 建築音響設計：拡声の補助

建築音響の面では、明瞭性の確保や音響障害への対応など主用途である拡声を補助する音場の設計を第一義と考えた。その上で、拡声を用いない講演・講義も用途として考えられ、その対応も合わせて検討した。そこで設計のポイントを、1) 楕円形状に起因する音響障害の回避、2) 残響成分の制御による明瞭性確保、3) 拡声不使用時の初期反射音制御による音量感、定位感、明瞭性の確保、として検討を行った。

“1)”に関しては、客席側壁及び後壁を山型の拡散壁とし、更に内装面を木リブとしてその背後を吸音性(グラスウール)とすることで、楕円形状による音響集中を回避した。“2)”に関しては、上記の通り側壁、後壁を吸音性とするのに加え、天井中央部のガラスパイプ背後を吸音性(天井面に岩綿吸音板)とした。“3)”に関しては、舞台周囲の壁と天井面のガラスパイプ以外の面を反射性とし、正面方向からの客席への初期反射音を確保することとした。以上、写真2の内観に概要を示す。

残響時間及び平均吸音率の測定結果を図5に示す。残響時間は座席最大数時に中音域で0.8秒(平均吸音率27%)、机を使用した状態で0.9秒(平均吸音率26%)となり、響きが抑えられた明瞭な音場となっている。

拡声設備を使用しない講演の条件を想定し、無指向性音源を舞台上に設置して音響測定を行った。G値の測定結果を図6に示す。G値は平均値で10.1dBと十分な値が得られている。また標準偏差は1.8dBと抑えられており、どの席に置いても十分な音量が得られている。

同じく無指向性音源を用いた時のSTIの測定結果を図6に合わせて示す。STIは0.68(Good)、標準偏差は0.03と、どの席におい

ても高い値が得られている。

これらの測定値は、前述の音響設備使用時と同程度の結果になっており、音量感、明瞭度の両面において拡声を使用しない条件での可能性が示されたと言える。

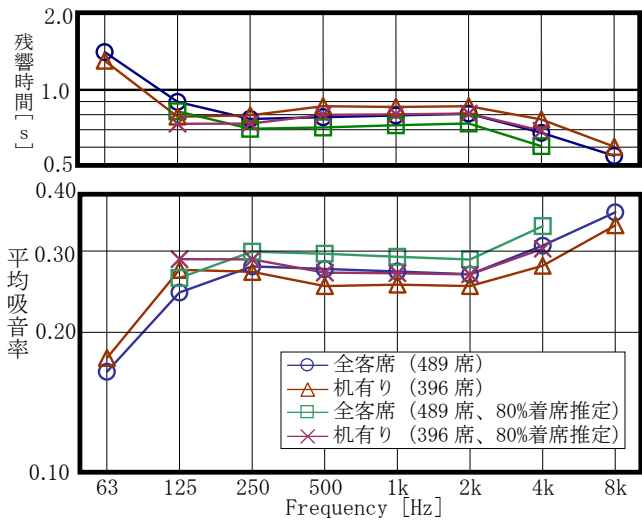


図5 残響時間及び平均吸音率周波数特性

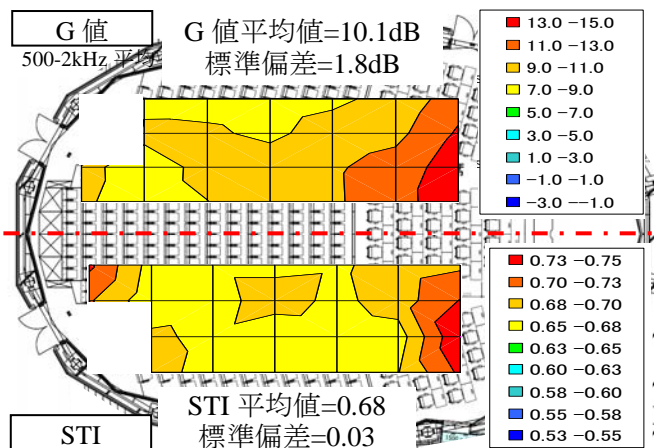


図6 音響設備不使用時のG値とSTI

3 音楽演奏空間としての設計

上述の様に講堂としての機能・性能を充実させた上で、国際会議等のレセプション時に行われるアコースティック楽器による演奏に対しても対応が求められた。原音場は講演に最適な明瞭度の高い音場としているために建築的な可変機構による対応は困難である。このため電気音響技術を利用した音場支援装置(AFC)^[2]を導入することとした。システム構成図を図2に、またマイク、スピーカの配置図を図1の平断面図に示す。

本ホールの初期反射音は現音場において充分なため、システム構成は残響生成に絞り設計した。拡散音再生を意図してスピーカは底上及び天井ガラスパイプ上に配置した（写真4）。残響を支援するシステムは、音響フィードバックを利用して原音場の特徴を残響成分に取り入れることで自然な音場を創り出している。しかし本ホールはデッドな音場のため、フィードバックの効果が小さいと予想された。そこで自然な音場を得るために、より長い反射音を音質良く合成することが可能な実時間畳み込み器をプロセッサとして導入した。システムの設定パターンは表2に示すように4音場とした。各パターンの残響時間の測定結果を図7に示す。最大で3.5秒まで延長することが可能となっている。

4 騒音・遮音制御

伊藤謝恩ホールは施設の地下階に位置し、図8に示すように直上には桜広場がある。ここは街に向かって開かれた知的な出会いの場とのコンセプトに設計されており、通り抜けの動線ともなっている。そこで、歩行音など床衝撃音への対策として、ホール直上に当たるエリアに発泡系の浮床を採用している。測定結果は、 L_L-35 、 L_H-30 と高い性能が確保されている。またホール採光用の光窓部は、二重窓として遮音性能を確保（D-55以上：暗騒音のため測定限界）している。なお、空調騒音レベルはNC-15をクリアしている。

5 おわりに

竣工測定に合わせて、関係者を招いて音響の確認会を行った。AFCシステムについては弦楽四重奏による試奏も行った。拡声に関しては聞き取り易く、また演奏に関しては演奏者、観客の双方から自然で十分な響きが得られていると好評を得た。

本施設は2012年2月より一般利用を開始し、既に著名な講演者によるレクチャーやシンポジウムなど多くのイベントが行われている。今後も人材育成、学問・研究の交流の場として大いに利用されることを期待したい。

最後に本プロジェクトの設計、施工に携わられた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] 兼子他, 音響技術, vol.41 no.2
- [2] Miyazaki et al., AES 115th Convention, Oct. 10-13, 2003.

写真4 底上 AFC スピーカ

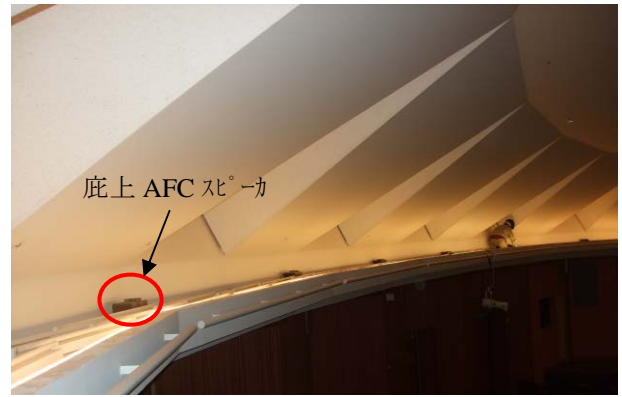


表2 AFC システム設定パターン

設定パターン	残響時間	想定される用途、特徴
原音場	0.8 秒	講演会（音響設備利用）
A Short	1.1 秒	・僅かな音量感 UP ex. 講演会（生声）
B Mid	1.9 秒	・短めの残響、音量感重視 ex. ソロ楽器（ピアノ、弦楽器）
C Long	2.3 秒	・長めの残響、残響感重視 ex. 室内楽（弦楽／金管四重奏）
D Demo	3.5 秒	・非常に長い残響、残響感重視 ex. 教会音楽、現代曲

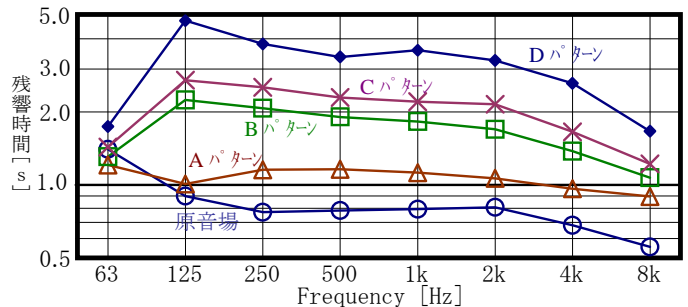


図7 AFC システム使用時の残響時間

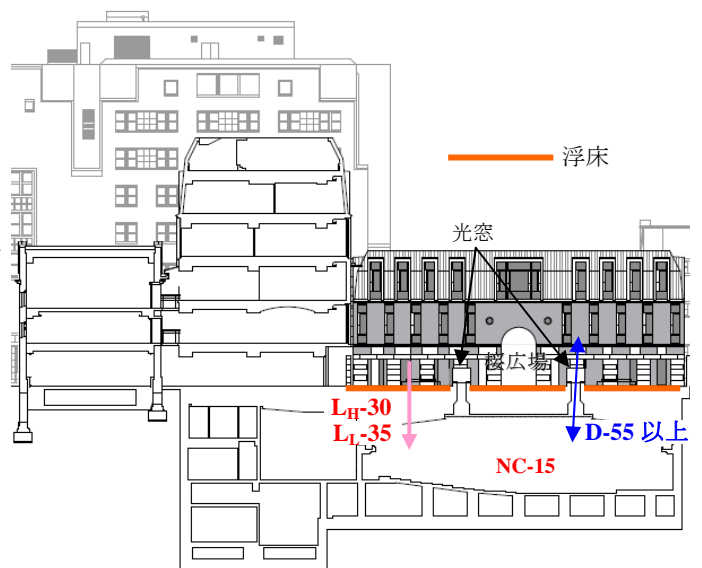


図8 騒音、遮音測定結果