

札幌メディアパークの室内音響検討

Room Acoustics of Sapporo Media Park

高 久 勝 彦

要 約

札幌メディアパーク（仮称）は、多目的なイベント開催を目的とした最大約1600名収容のアリーナ会場として計画された。計画当初、円形平面で周壁がガラスで構成される、天井の大部分が開閉式トップライトである等、音響的には非常に難しい室形状で、音響障害の発生は必至であると懸念された。このような建築計画に対して極力音響障害が発生し難いようにアリーナ内装材の変更及び追加や、拡声方式を検討した。その結果、基本的な室形状を変更せずにイベント空間として使用に耐えうる音響状態を実現することができた。

目 次

- I. はじめに
- II. 建物概要
- III. 設計時の検討項目及び結果
- IV. 竣工時音響測定結果
- V. おわりに

I. はじめに

札幌メディアパーク（仮称）は、札幌テレビ放送（株）の創立40周年記念事業の一つとして計画され、札幌市内・大通り公園に近い同社隣接地に多目的なイベント開催を目的とした最大約1600名収容のアリーナ会場として計画されたものである。

計画当初、円形平面で周壁がガラスで構成される、天井の大部分が開閉式トップライトとなる等、音響的には非常に難しい室形状で、音響障害の発生が必至であると懸念された。そこで、平面計画の見直しも含めてアリーナ形状が再度検討されたが、多彩な使用形態を優先する施主の要望と、設計者の意匠的な強い希望から円形の平面形状、開閉式のトップライトが採用された。そこで、このような音響的制約の多い室形状を踏まえた上で、音響障害を極力排除し、イベント空間として使用に耐えうる音響性能を確保することを目標に室内音響設計を行うこととなった。本報は、この室内音響設計及

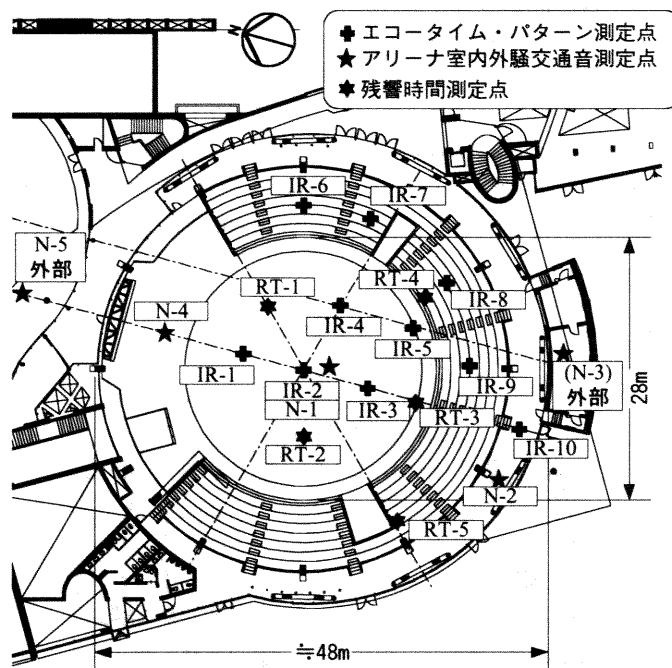


Fig. 1 建物平面図及び測定点位置図
(Building Plan and Measuring Point)

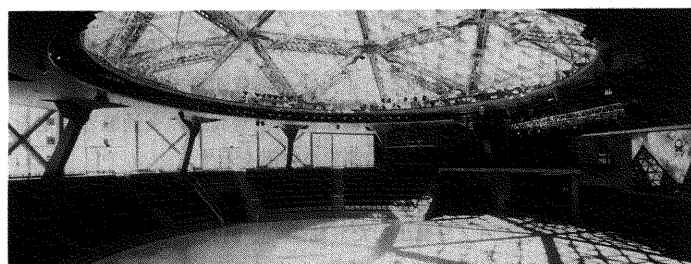


Photo 1 アリーナ内観
(Inside View of Arena)

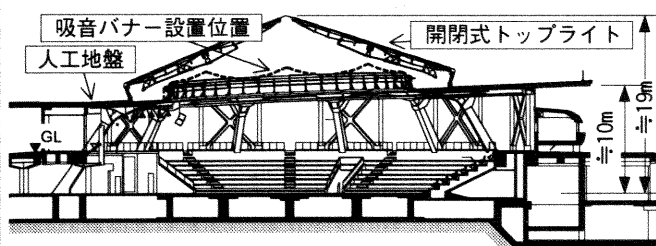


Fig. 2 建物断面図
(Building Section)

キーワード；イベント空間，ガラス壁，円形平面，室内音響，残響時間，交通騒音，エコータイムパターン，明瞭度，音響測定

び、竣工時音響性能が設計目標値を満足している否かの検討結果について報告する。

II. 建物概要

建物の平面図をFig. 1, 断面図をFig. 2にそれぞれ示す。天井の開閉式トップライト、アリーナ外周壁共に全面透光性のガラスで構成されている。アリーナは真円の平面形を有し、896席の固定スタンド席を基本に、アリーナ平土間に移動席を配置することにより多彩なイベント形態に対応できるよう計画されている。また、ステージは、通常は北側の大型映像スクリーンの下に設置されるが、固定ではなく仮設とすることでフレキシブルな対応が可能になっている。アリーナの内観をPhoto 1に示す。

III. 設計時の検討項目及び結果

1. 検討項目

基本設計の段階から、アリーナの音響状態に対して下記の項目について検討を行ってきた。

- 円形の室形状が音場に及ぼす影響
- アリーナ内の残響時間周波数特性
- 外部騒音がアリーナ内部に及ぼす影響
- アリーナ内の拡声方式
- 空調騒音がアリーナに及ぼす影響

これらのうち、a及びcについて以下に報告する。

2. 音響CADシステムによる室形状の検討

本建物の設計当初の内装仕様は、前述のガラス面以外に、人工地盤下面の室内天井がRC打ち放し、床が樹脂塗装と、大部分が反射

性の材料で占められており、響き過ぎによる明瞭度の低下が懸念された。また、室形状に起因する種々音響障害の発生も懸念された。当初発生が懸念された主な音響障害を下記及びFig. 3に示す。

- 平面が円形であることに起因して、円の中心に対して音源位置と点対称な位置に必ず音響焦点が存在する (Fig. 3(1))
- 同様に、外周壁を伝わって音が回る (同(2))
- 外周壁間でのフラッターの発生 (同(3))
- トップライトと床との間でのフラッターエコーの発生 (同(4))
- SPから出た音が後周壁のガラスに反射して生ずるロングバースエコーの発生 (同(5))
- 残響過多による明瞭度の低下

計画段階で、このような音響障害の発生がアリーナ内での聞こえ方にどの程度影響するのか事前に検討することとなった。

音響CADシステムにより、アリーナ内の音線経路を計算し、その結果を基に可聴化システムで残響音、音響障害が楽音の聞こえ方に与える影響について、施主、設計者と共に聴感により確認した。その結果、残響音が減衰せず、聴いていて非常に疲れる、SP方向からの直接音以外に、種々の方向から顕著な反射音が聴き取れる等の不具合が聴感により確認できた。

これらの問題を解決するために、下記のような対策方法を提案し、それらを盛り込んだシミュレーション結果も同時に試聴した。

- 人工地盤下面の天井面に300mm以上の背面空気層を設けた多孔質吸音材 (例えば、グラスウール等) を設置する。
- 外周壁ガラス面の前面に3倍ヒダ程度の吸音カーテンを設置する。
- 外周壁のガラス面に直接音が入射しないようにメインスピーカの角度を調整する。
- トップライトと床面でのフラッターエコーを防止するために、トップライトの下に吸音性のタペストリーのようなものを間隔を開けて数枚吊り下げる。

これらの対策案を盛り込んだシミュレーション結果を試聴した結果、前述の不具合の程度が減少することが確認できたため、これらの対策案を盛り込むことを前提に現室形で進めることとした。

その後、昼光を完全に遮断する必要性、意匠的な要望等から外周壁の吸音カーテン (以下、単にカーテンと略す) は遮光性、吸音性のある布を使った巻揚げ式のブラインドに、トップライト下の吸音性タペストリーは、ブラインドと同様の布を使ってトップライト前面が隠せるように設置可能なもの (以下、バナーと称す) となった。

3. 外部騒音による室内騒音レベルの予測

当該敷地は、南側に交通量が多く幹線道路である北一条通り、北側に北二条通りで挟まれた場所にある。本建物の外周壁及びトップライトはガラスで構成されるため、交通騒音が室内暗騒音に及ぼす影響が懸念された。そこで、事前に計画敷地周辺の交通騒音測定を実施した。Fig. 4に交通騒音の測定点位置を示す。

測定は夏季に実施し、24時間毎正時10分間の録音を行い、各時間帯の L_{eq} 、 L_{05} 、 L_{50} を算出した。結果の一例として、測定点P-3の全測定時間内の上下限值 (L_{eq}) をFig. 5に、各測定点の騒音レベルの時刻変化をFig. 6にそれぞれ示す。

この測定で得られた外部騒音の結果を基にアリーナ内の騒音レベ

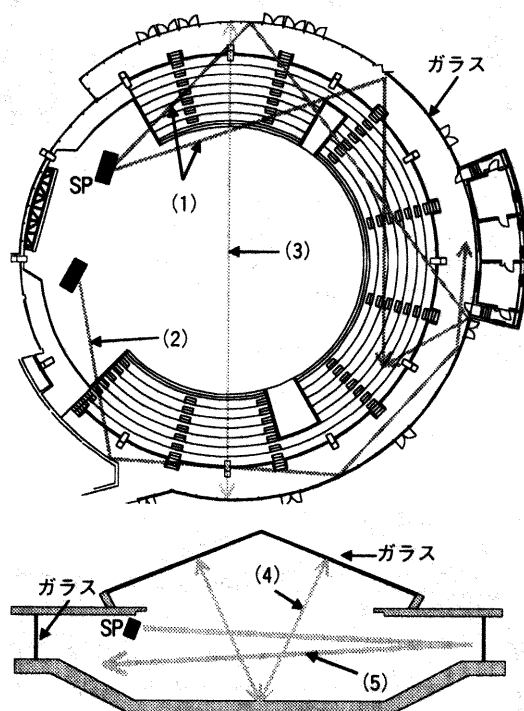


Fig. 3 音響障害の例
(Examples of Acoustic Obstruction)

ルの推定を行った。その結果、アリーナ内での騒音レベルはNC-35~40と、公開スタジオ等の使用を考えると大きな値となった。しかし、外部に面する部分の大半がガラスで構成されることをから外部騒音を低減させるための有効な対策が取りづらいことを施主、設計者に認識して頂き、室内騒音の設計値をNC-35~40に設定した。

IV. 竣工時音響測定結果

1. 測定概要

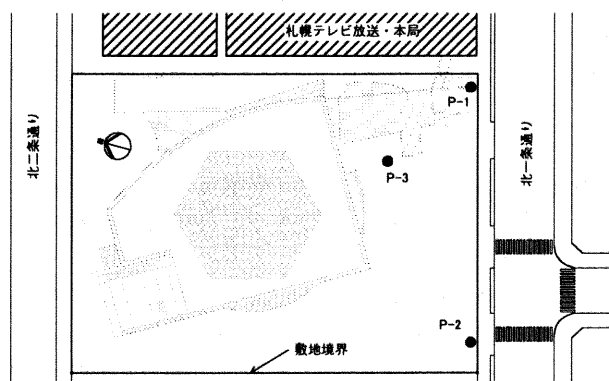


Fig. 4 交通騒音の測定点位置
(Measuring Point of Traffic Noise)

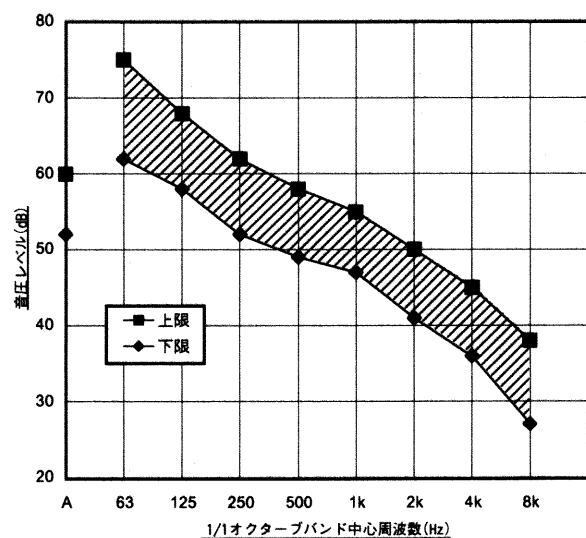


Fig. 5 交通騒音の測定結果(P-3)
(Result of Traffic Noise(P-3))

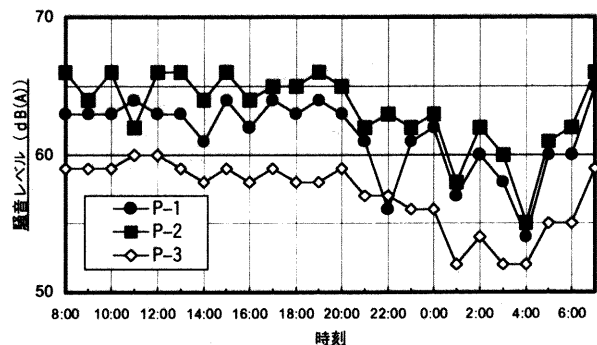


Fig. 6 各測定点の交通騒音レベル測定結果(L_{eq})
(Result of Traffic Noise at Each Point(L_{eq}))

- a. 測定項目
- ・残響時間周波数特性
 - ・アリーナ内外交通騒音測定
 - ・エコータイムパターン (ETP)
(両耳インパルス応答)
 - ・明瞭度 (STI) (測定点はETPと同じ)
 - ・楽音両耳録音 (測定点はETPと同じ)
 - ・人工地盤歩行音

b. 測定日時 2000年3月9日~12日

各測定の測定点位置をFig. 1に示す。人工地盤歩行音は歩行位置直下及び室内中央とした。

2. 測定方法

各測定項目の測定ケースを表Table 2にまとめて示す。(表中の「○」印は該当する設備が設置されている状態を表し、「×」印は、設置されていない状態を表している)

Table 2 測定ケース一覧
(Measuring Case)

測定項目	室内状況		実施日
	カーテン	パナー	
残響時間周波数特性	1 ○	○	2000年3月09日
	2 ○	×	2000年3月11日
	3 ×	×	2000年3月11日
アリーナ内外交通騒音	1 ○	○	2000年3月10日
	2 ×	×	2000年3月12日
エコータイムパターン (両耳インパルスレスポンス)	1 ○	○	2000年3月09日
	2 ×	×	2000年3月11日
明瞭度(STI)	1 ○	○	2000年3月01日
	2 ○	×	2000年3月02日
	3 ×	×	2000年3月03日
楽音両耳録音	1 ○	○	2000年3月09日
	2 ×	×	2000年3月11日
人工地盤歩行音	×	×	2000年3月12日

(1) 残響時間周波数特性

館内SPからオクターブバンドノイズをアリーナ内に放射し、アリーナ内の音圧が定常状態になった時点で音を止め、アリーナ内の音圧レベルの減衰過程をリアルタイムアナライザーに取り込んで残響時間を算出した。

(2) アリーナ内外交通騒音

アリーナ内に3点、北一条通り側、北二条通り側の外部にそれぞれ1点の計5点に騒音計を設置し、6:00~22:00の毎正時15分間の騒音レベルをデータレコーダに録音した。後日再生し、5ch統計分析器により収録した15分間のうち10分間の L_{eq} 、 L_{05} 、 L_{50} を算出した。(測定点N-3は、敷地内の残雪の影響を避けるため、北一条通りが見渡せる人工地盤上に設置した)

(3) エコータイムパターン (両耳インパルス応答)

館内SPから再生されたM系列信号を各測定点においてダミーヘッドで収録し、パーソナル・コンピュータで信号処理して両耳インパルス応答を算出した。

(4) 明瞭度 (STI)

ステージ上に設置した擬似音源SPから測定信号を発生させ、このSPから30cm離れた位置に設置したマイクロフォンで集音し、館内のSPから一定音量で拡声する。この拡声音を測定点に設置したマイクロフォンで収録し、STI測定器によりSTIを算出した。

(5) 楽音両耳録音

館内のSPから再生されたアナウンスと楽音のドライソースをアリーナ内測定点に設置したダミーヘッドで収録し、DATに録音す

ると同時に、聴感により聞こえ方を確認した。

(6) 人工地盤歩行音

人工地盤上を成人男性（体重約60Kg）が革靴を履いた状態で通常歩行した場合、走った場合、飛び跳ねた場合の音をアリーナ内で聴感で確認し、要すればその大きさを騒音計で測定する。（測定は、除雪し地盤素面を露出した状態で行った）

3. 結果及び考察

(1) 残響時間周波数特性

室内に均等に配置した5点の残響時間の平均値をアリーナ内の残響時間として各ケースを比較してFig. 7に示す。これを見ると、「カーテン無し、バナー無し」の状態（■）の残響時間は、中音域で盛り上がった周波数特性を示しているが、カーテンを設置することにより（▲），中音域の盛り上がりは改善され平坦な周波数特性になることがわかる。これは、アリーナ外周壁のガラスによるフラッターエコーがカーテンを設置することにより低減されることによるためであると考えられる。カーテン、バナー共にある場合（○）は、バナーを設置したことによる吸音力の増加に伴い高音域の残響時間が更に減少する傾向を示している。

今回実測により得られた空席時の残響時間から「カーテンあり、バナーあり」の状態での満席時（スタンド席に882人、アリーナ席に628人、合計1510人収容時）の残響時間を推定し、同状態での設

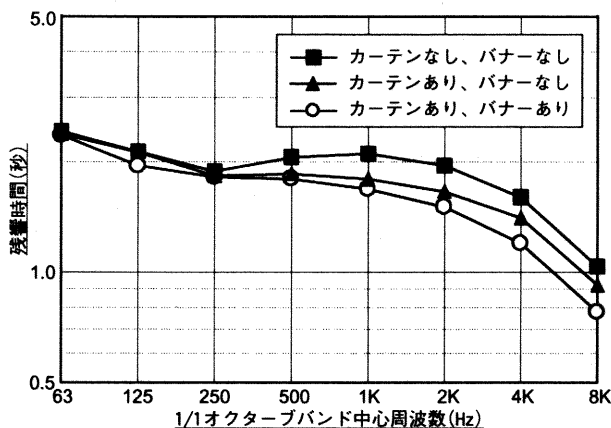


Fig. 7 残響時間測定結果
(Result of Reverberation Time)

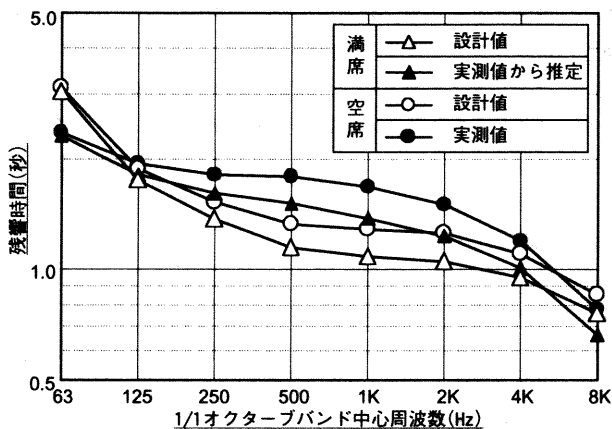


Fig. 8 設計残響時間との比較 (満席時、空席時)
(Comparison between Calculated and Measurement)

計目標値と実測値（満席時は推定値）を比較した。結果をFig. 8に示す。実測と設計値の残響時間の差は、満席時500Hzで0.37(秒)、空席時500Hzで0.47(秒)となったが、これは、カーテン、バナーの布の吸音率が、設計時に想定した値と実際の材料の値とで異なった事によるものと思われる。しかし、満席時の残響時間1.52(秒/500Hz・推定)は、当初設定した残響時間の設定値の範囲内(1.1～1.7秒)であり、適正な値であると思われる。

(2) アリーナ内外交通騒音測定結果

各測定点における6:00～22:00の騒音測定結果のうち、室内の測定点(N-1, N-2, N-4)における室内騒音レベル(L_{eq} , NC数, NC値)をまとめてTable 3に示す。また、アリーナ中央(N-2)の結果をFig. 9に示す。

結果を見ると、室内騒音は L_{eq} でNC-25～NC-30となっており、当初の目標値であるNC-35～NC-40は十分満足していることが確認できた。また、カーテン、バナーの有無による室内騒音の顕著な差異は特に認められなかった。

本測定時の道路面の状況は、路面全体が圧雪された状態であった。また、当該敷地内にも相当量の残雪、積雪がある状態であった。このため、夏季の道路面が露出した状態での交通騒音と今回の測定時の交通騒音の大きさに差異が生ずることが懸念されたため、夏季に実施した前述の測定結果と比較を行った。事前測定の測定点P-3(Fig. 4参照)と今回の測定点N-3(Fig. 1参照)がほぼ同位置であることから、この2点の L_{eq} の測定結果を比較することとし、計画時測定結果の6:00～22:00の上下限値と今回の測定結果の上下限値を比較してFig. 10に示す。

この結果を見ると、今回の測定結果は計画時測定結果に比べて低音域で低く、中高音域で高い値を示していることがわかる。これは、圧雪された路面を走行することによる車のタイヤ音の減少、敷地周辺の残雪、積雪による吸音等の影響で全体的に騒音レベルが低下したが、逆に中高音域は、日中路面の雪が溶けてタイヤが水を弾く音によって騒音レベルが増加したことによるものと思われる。

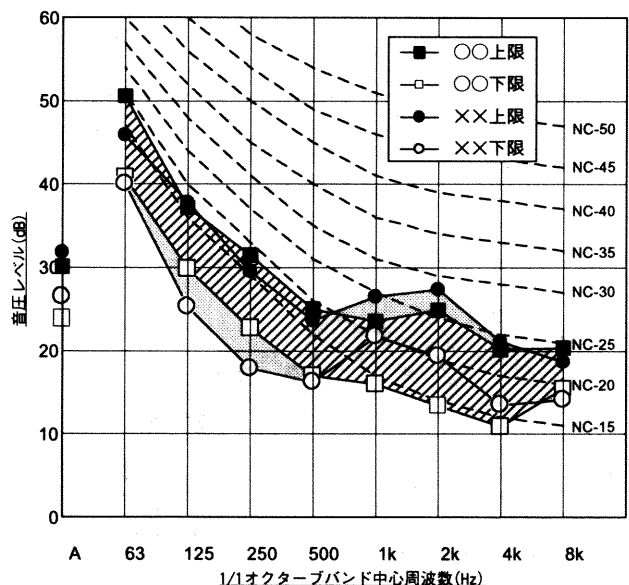


Fig. 9 室内騒音レベル測定結果(N-2)
(Result of Noise-Level in Arena)

そこで、外部の交通騒音が計画時測定の結果と同程度になった場合に、室内の騒音レベルがどの程度になるか検討することとした。つまり、今回の測定結果のうち、N-1（内部）とN-3（外部）の同時刻の測定結果同士から内外音圧レベル差を算出し平均する。これを建物による遮音性能と仮定し、事前測定結果の上下限値からこの遮音性能を差引いて室内騒音レベルの上下限値を推定した。検討結果をFig. 11に示す。この結果を見ると、外部騒音が計画時測定結果程度であっても室内の騒音レベルはNC-25以下と、今回の測定結果と大きく変わらないことが確認できた。

(3) エコタイムパターン（両耳インパルス応答）測定結果

各測定点で収録した全時間（1000ms）の両耳インパルス応答の結果の応答波形前半の400ms部分を拡大し、カーテン、バナー共に設置した場合を上段に、カーテンのみ設置した場合を中段に、共に設置しない場合を下段に並べてFig. 12示し、波形上の特徴的な部分に○印を同図中に付した。

これらの結果を見ると、アリーナ席の中心線上の点（IR-1～IR-3）では、ステージの左右メイン・スピーカーから等距離にあり、スピーカーからの直接音が十分な音量で供給されるため、カーテン、バナーの有無による顕著な差異は認められない（Fig. 12(a)）。しかし、カーテンがない場合、同じアリーナ席でも中心から外れる点IR-5では、約120ms遅れたところに反射音が見られるようになる

Table 3 室内騒音レベルの評価値
(Result of Noise-criterion in Arena)

種別	測定点	室内状況		NC数*1	NC値
		カーテン	バナー		
Leq	N-1	○	○	26	30
	N-2			26	30
	N-4			27	30
	N-1	×	×	24	25
	N-2			28	30
	N-4			24	25

(*1:NC数とは、5刻みであるNC値の間を便宜的に1刻みで読んだ値を指す。*2:除雪車の作業音あり)

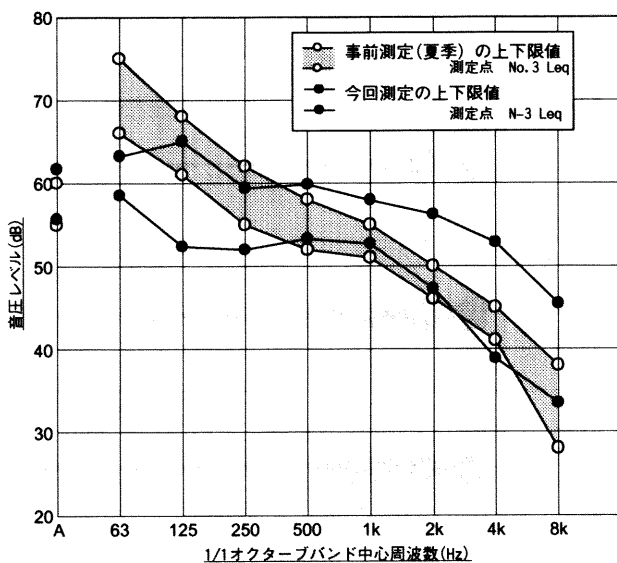


Fig. 10 夏季と冬季の交通騒音測定結果の比較
(Comparison of the Traffic Noise of Summer and Winter)

(Fig. 12(b))。スタンド席では、メインスピーカーから離れるに従って、カーテンがない場合の反射音の現れ方が顕著になる（Fig. 12(c)）。スタンド席後方のIR-9では、バナーがないとトップライトからの反射と思われる顕著な反射音が認められるようになる（Fig. 12(d)）。この様なことから、カーテン、バナーがアリーナ内の有害な反射音の制御に有効に機能していることが確認できた。

(4) 明瞭度（STI）測定結果

各測定点のSTIの測定結果をTable 4に示す。この結果を見ると、全ての測定点でSTIの主観評価値で0.6以上(Good)を満足している。メイン・スピーカーとの距離があるIR-8～IR-10の測定点では、カーテン、バナー共にある場合のSTIの値が、共にない場合のそれに比べて良くなっている。これは、カーテン、バナーを付けた事により、余分な反射音が低減された事によるものと思われる。カーテン、バナー共にある場合のSTIの値は、カーテンのみある場合のそれに比べて若干低い値を示す傾向にあるが、これは、バナーを付けた事によって中高音域の吸音力が増加し、中高音域の音圧が多少低くなった事によるものと思われる。

(5) 両耳録音測定結果

メインSPから男性アナウンス、弦楽四重奏、トランペット演奏のドライソース（残響が付加されていないソース）を再生し、各測定点でダミーヘッドで両耳録音をすると同時に聴感により各ソースの聞こえ方をチェックした。その際の所感を以下に記述する。

カーテン、バナー共にない場合、アリーナ席（IR-1～IR-5）はメインSPからの直接音が優勢で、後方に行くに従って周辺ガラス壁からの反射音が気になるが、アナウンスの明瞭度が低下する印象はあまりなかった。スタンド席はメインSPからの直接音が届き難い

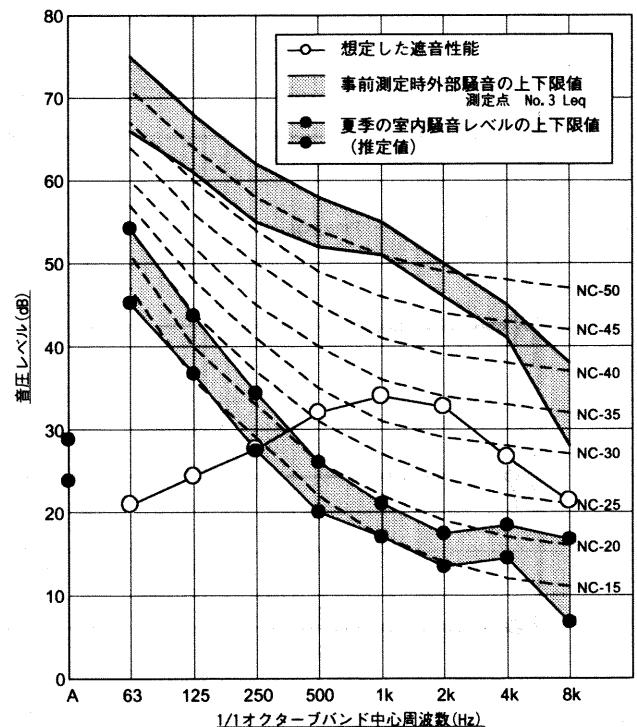


Fig. 11 夏季の室内騒音レベルの予測
(Calculated of Indoor-Noise Level in Summer)

IR-6, IR-7でメインSPとはほぼ同音量で時間遅れの反射音がアリーナ後方から聞こえた。この現象は、アナウンスやトランペット演奏の場合に顕著で、弦楽四重奏の場合は注意して聴かないと判らない程度であった。しかし、この反射音は、カーテンを設置することで気にならないレベルまで低下することは確認できた。

スタンド席後方のIR-9, IR-10でも同様な傾向は見られたが、カーテン、バナー共にない場合、アリーナ内の残響音に直接音がマスクされアナウンスやトランペット演奏はやや聞き取り難い感じがした。これも、カーテン、バナーを設置することにより、残響音が押さえられ聞き取り易くなりことは確認できた。

(6) 人工地盤歩行音測定結果

革靴で通常に歩行した場合、アリーナ内直下でも歩行音は全く聞き取ることができず、小走りの状態でも同様であった。その場で飛

び跳ねた場合は、飛び跳ねていることが分かる程度には聞き取ることができたが、騒音計で測定可能な範囲以下であり測定値を収録することは困難であった。

V. おわりに

本建物は2000年4月7日のグランドオープン以降、能、バレエ、TV公開放送収録等に使用されているが、音響的な問題は発生していない。本会場は、円形という音響的に非常に不利な平面形状にも係らず、当初予定していた用途に支障の無い音響状態に仕上がったと言える。今後、展示会、講演会、等多様な演目が年間を通して休みなく予定されており、立地条件と相まって有効に活用されるものと思われる。

参考文献

- 1) 高久他；フジテレビジョン本社ビル・テレビスタジオの音響検討（その1）、鹿島技研年報、第44号、(1996.12)。
- 2) T.Houtgast他；The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility, ACUSTICA, Vol.28, (1973)。

Table 4 STI測定結果
(Result of Speech-Transmission-Index)

室内状態		測定点									
カーテン	バナー	IR-1	IR-2	IR-3	IR-4	IR-5	IR-6	IR-7	IR-8	IR-9	IR-10
○	○	0.66	0.64	0.67	0.69	0.66	0.64	0.66	0.69	0.67	0.70
×	×	0.66	0.64	0.67	0.70	0.66	0.64	0.65	0.64	0.63	0.63
○	×	0.68	0.68	0.69	0.72	0.68	0.66	0.67	0.67	0.68	0.71

Bad	Poor	Fair	Good	Excellent	
0.0	0.3	0.45	0.6	0.75	1.0

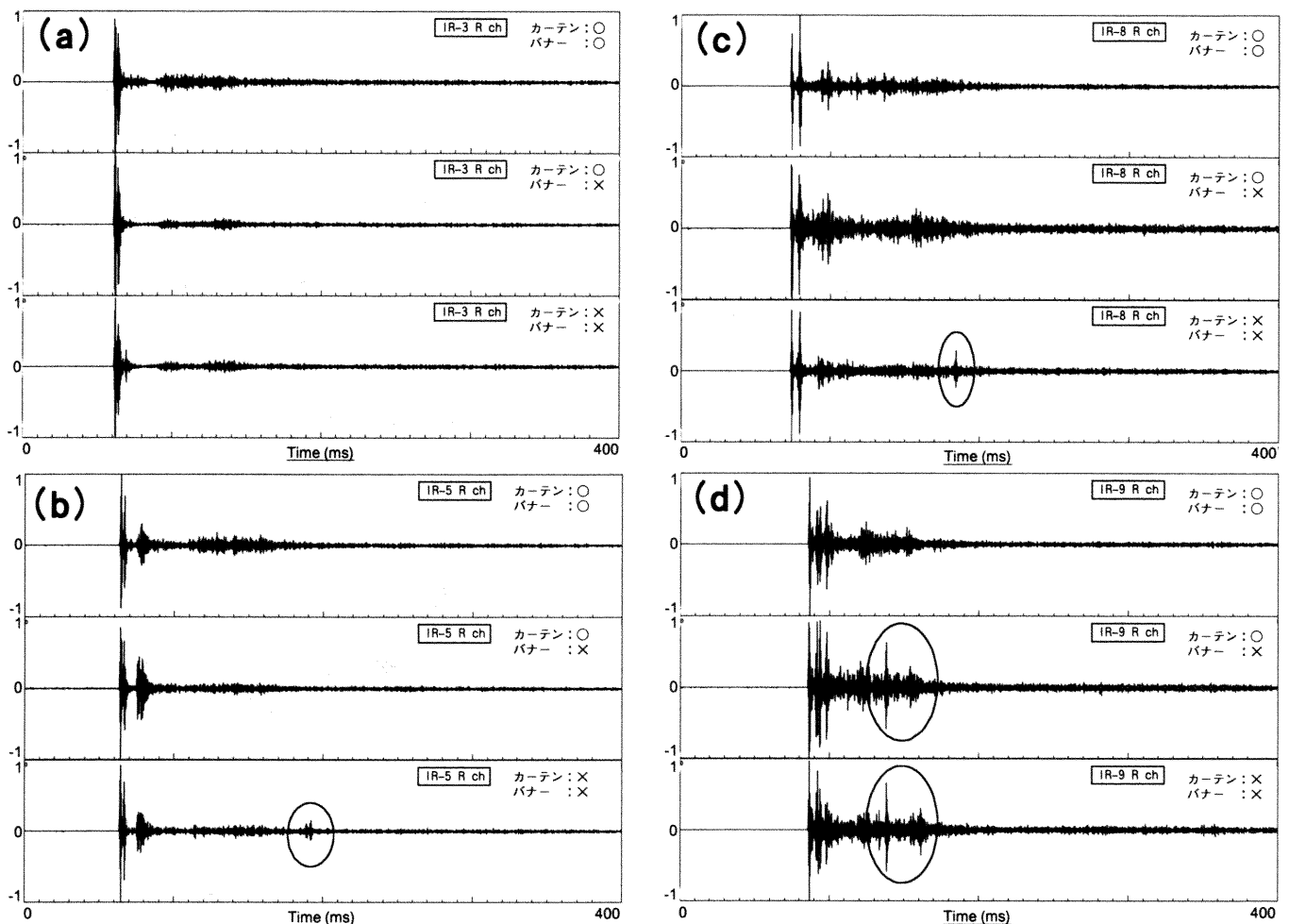


Fig.12 エコタイムパターンの測定結果例
(Exmaples of Echo Time Pattern)