EE設計通信 No.19 ～ コンサートホールの空調設備　　R1.7.31

■ まえがき

設備業界に長年従事していても、コンサートホールの空調設備に携わる機会は、そう多くはありません。
施設の特徴から民間施設（メセナ活動の一環：サントリーホール等）は少なく、多くは自治体で建設されています。
更に、施設の絶対数も少なく、加えて、技術者として高度な技術力が要求される施設であります。
技術面で考えれば、厳密な清浄度（クリーンルーム等）以外の、ハイレベルな諸条件を満足する必要があります。
「空調設備の技術者冥利に尽きる」、そんな案件かも知れません。実際の業務云々ではなく、その設計及び施工内容を知ることだけでも、必ずや自分自身のスキルアップに繋がる筈であります。今回の「EE設計通信」は、そのような思いから、拙い私の経験を記載しています。皆さんの参考になれば、幸いに思います。

■ 空調設備の計画について

計画の第一歩は、コンサートホールの特殊性を理解することです。開演中に静寂な空間に響き渡る演奏音、客席と舞台を包む静かな空気の流れ、観客の五感が研ぎ澄まされ、自然と演奏に魅了されていく。やがて、演奏者と観客が一体となり、非日常の時間を共有する。そんな不思議な魅力が、コンサートホールにはあります。

コンサートホールの空調設備には、演奏者と楽器に適した温湿度管理、演奏者と観客の聴感を妨げないダクト系消音対策等を、厳密に遵守することが重要になります。建築的な観点では、豊かな音の広がりを構成する高い天井空間、反射と吸音を考慮した内装仕上げ等、空調設備と関連する諸条件が考えられます。
更に、隣室との十分な遮音性能を確保することも、重要な条件となります。

ホール内の舞台と客席では、温湿度条件が異なります。舞台部は演奏者と楽器に適した条件が求められ、客席部よりも厳しい条件になります。その条件を満足するには、空調系統を完全に分離する必要が生じます。
私達が携わる施設であれば、演奏者を優先した条件（DB24.0℃・RH50.0%）で考えても良いかと思います。
ただ、クラシックホールでは、より厳しい温湿度条件（DB20.0～22.0℃・RH40.0～45.0%）で考え、系統分けした空調設備が必須だと思います。多目的ホールの場合では、多少緩やかな温湿度条件（夏季DB26.0℃・RH50.0%
冬季DB22.0℃・RH50.0%）に設定して、運営されている施設も見受けられます。

熱源方式は室内温湿度条件に関係します。例えば、クラシックホールでは、厳格な湿度制御の必要性から、冷却＋再熱サイクルが必要になります。湿り空気線図（空調設備屋さん必須の知識です）に、室内外温湿度と熱負荷計算値及び熱源機器温度条件をプロットし、システムとしての検証を行います。その一連の作業から、空調機送風量及び冷却・再熱能力が決定されます。同時に、システムの制御方式を決定することになります。

空調機の送風量を決定する際には、興行場法施行条例を考慮する必要があります。詳細な基準値が未設定な自治体の場合は、東京都条例の必要外気量（25m3/m2・h）及び換気量（75m3/m2・h）の値を参考にします。一般施設に比較し、送風量が大きいため、ダクト系の消音装置が重要になります。相反事項として、送風機の静圧値が大きくなります。そのための一手段として、大きめの送風機を選定することが必要になります。
空調負荷の特徴として、外部（躯体）負荷に比べ、内部負荷が大きい傾向があります。人体からの内部発熱の影響が大きいことから、室内顕熱比（SHF）が小さくなります。室内顕熱比（SHF）を、湿り空気線図上の状態値にプロットすると、室内温湿度条件に応じて、再熱処理が必要になることが分かります。

コンサートホール内の静謐（せいひつ）な空間を創造する、ダクト系の消音対策知識に触れます。
下記に主な配慮点を記載します。多くの文献と同様な内容ですので、参考程度としてお読みください。

■ 消音計算の配慮点

基礎事項と簡単な判断基準を下記に示します。

○ ダクト系騒音の評価はNC値

単位時間に騒音源の発生するエネルギーを音響出力といい、この対数表示がパワーレベル（PWL）
音波の進行方向に垂直な単位断面積を、単位時間に通過するエネルギーを音の強さ～音圧レベル（SPL）

○ デシベル表示の意味

音を聞くことは可聴範囲の違いもあり、感覚的な変化量の判断になることから、Weber-Fechnerの法則
”感覚の大小は刺激の強さの対数に比例する” に基づく評価基準

○ デシベル計算の基本

① 足し算 ～ 2つの値の大きい方に下記の補正値を加える

2つの値の差[db]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
補正値[db]	3		2		1						0

② 引き算 ～ 2つの値の大きい方に下記の補正値を減じる

2つの値の差[db]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
補正値[db]	不能	7	4	3	2		1				0

※JISZ8731では、補正が出来るのは2つの値の差が4db以上ある場合

○ 消音計算の基本

計算の原則は ”騒音源から受音点までを順番に” 行います。

① 吹出口及び吸込口騒音（送風及び還風機よりのダクト系）

送風機（空調機）の発生音　※メーカーデータ（PWL）を採用
消音チャンバーでの減音　※チャンバー寸法は極力大きくする
ダンパーでの発生騒音　※末端部近くでは極力設置しない
ダクト分岐での発生騒音　※デシベル計算上は無視することが多い
ダクト分岐での減音　※消音器メーカーでは計算することが一般
消音器での減音と発生騒音　※消音器メーカーでは減音のみを計算
吹出口発生騒音　※メーカーデータ（PWL）を採用
開口端反射減衰・室内放射係数考慮

② 送風及び還風ダクトよりの透過音

ダクト内部のPWL ～ ダクトの透過損失 ～ 天井材の透過損失 ～ 室内放射係数考慮
※最終的には上記項目毎の騒音値を合成し、NC曲線より判断する。

○ 消音対策の注意事項

① 空調機械室

騒音値規制居室より、十分な離隔を確保した配置。吸音構造（吸音材50t以上）とし、隣室影響を低減する
機械室床（厚さ200mm程度）は剛性を高くし、扉は防音仕様。ガラリ等の外部開口は近隣影響を考慮する

② ダクトスペース

コンクリート構造とし、吸音処理（吸音材50t以上）をする

③ 送風機

回転数1,000rpm以下の機種を選定。必要以上の静圧を有する機種は選定しない。

④ ダクト経路

制気口の風量が均一なるようなダクト経路（抵抗値を均一）。ダクト分岐は極力送風機近くにする

⑤ 機器及びダクトの遮音、防振

天井裏ダクトは、透過音計算を行い、必要に応じ遮音外装する。キャンバス継手は短く、緩みは保持する
機器類は防振架台、ダクト・配管は防振ゴム支持とする

⑥ 渦流音に対する配慮

渦流音の発生を防止する為に、制気口（3m/s程度）及び近接ダクトの風速を小さくする。ダクト内風速は
全ての範囲で5～7m/s以下にする（2～5m/sの設計例有り）。制気口は風量調整機能の使用はしない
やむを得ず設置する場合は風速を十分小さくする。また、給気量と排気量はほぼ等しくする

⑦ 消音エルボ

消音エルボは連続しない。直管部をダクト対角線の2倍以上は確保する。空気層を設ける場合は 200mm
以上を確保する。消音エルボの概略設置個数は下記を参考することが多い。
（クラシックホール：5～8個、多目的ホール：4～7個、集会場：3～5個、ホワイエ：3～5個、事務室：2～4個）

■ コンサートホールの設計例

○ Sコンサートハウス（RC造・一部S造　平屋建　延床面積 796m2）

収容人員は移動客席形式で最大150名。ホールは約14.5mの正方形平面、天井高は約9mの空間構成。一流の音楽を身近に、ハウス（家庭）のような環境で触れ合えるホール、時には演奏会も行う外部庭園等、施設全体があたかも舞台のような趣を有している。また、観客と演奏者は同じ目線で、音楽を愉しむことが出来る。その全てが、施設の大事なコンセプトになっています。次に、空調設備の計画概要を説明します。

① サロン室内温湿度条件　　※夏期の相対湿度は目標値（細部の制御は不可）

夏期：乾球温度26℃±1℃・相対湿度50%±5%、冬季：乾球温度22℃±1℃・相対湿度45%±5%

他施設参考条件値　～　夏期：（ｽﾃｰｼﾞ）22℃±0.5%・40%±5%（客席）24℃±0.5℃・45%±5%

冬季：（全体）22℃±0.5℃・45%±5%

② 熱源方式

単独運転が容易な空冷ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ直膨式熱回収型空調機を採用。リモコン設定での再熱制御は可能

運転開始時のウォーミングアップ制御（外気シャットオフ）も可能

③ （ダクト系消音計算）

直膨式熱回収型空調機の送風機及び排風機は既成品なので、消音対策はメーカー仕様を基準に実施

室内への透過音対策は、ダクトの板厚アップと部分的な遮音シート巻きで対応

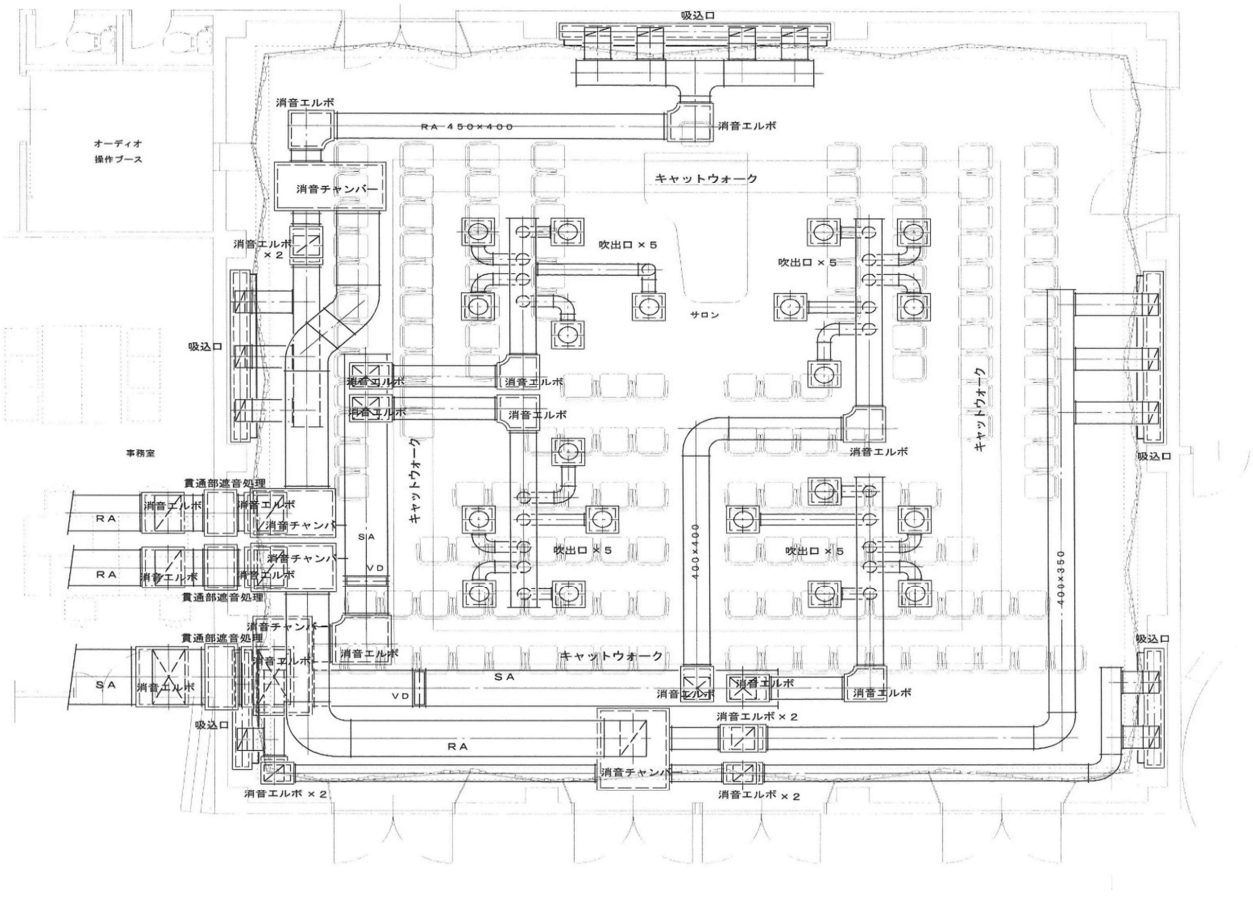
④ 竣工後データ測定結果（冷房時）

竣工後、最初に開催された室内コンサート（定員150人）の際に、工事に関係した技術者が熱源機器の運転及び送風量の調整を行った結果、下記に示す測定データを得ることが出来ました。

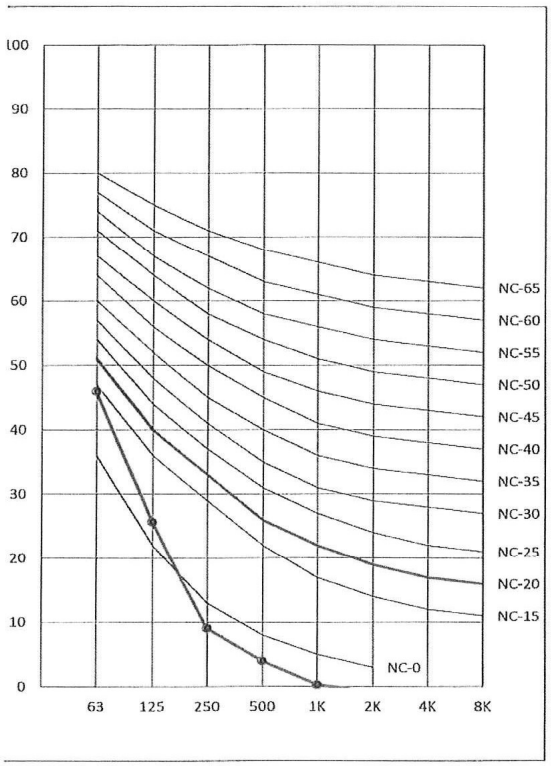
（測定値：室内温湿度　DB24.0℃・RH45.0%、室内騒音値　NC-20以下）

設計時に想定した以上の結果でした。多くの観客の方が演奏に集中し、その五感は演奏者に注がれていました。「家庭のように音楽を愉しむ」、施設が目指すコンセプトが、ホール内で具現化していました。計画から施工に渡り、多くの技術者が携わりました。関係者の努力が些少でも報われた測定値でした。

■ 計画時のホール空調設備概要図



■ 消音計算（吹出口騒音・吸込口騒音・ダクト透過音） ～ 詳細計算は吹出口騒音を表記



目標値NC-20

室名　サロン

系統名　AHU-01

計算内容　吹出口騒音 + 吸込口騒音 + SAダクト透過音 + RAダクト透過音

計算点　部屋中央

許容騒音　NC -- 20

寄与係数　10log　[1/1]

※室内寸法

W	L	H	m³
13.0	13.0	9.0	806

※吸音率

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
サロン	0.16	0.18	0.20	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24

計算内容	A	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
吹出口騒音	11	33.7	14.4	8.7	4.0	0.3	-0.8	-1.0	-2.1
吸込口騒音	10	36.0	13.1	-21.3	-51.1	-67.1	-55.1	-47.0	-45.0
SAダクト透過音	17	42.8	24.0	-2.2	-19.6	-24.7	-26.7	-30.4	-33.9
RAダクト透過音	16	41.5	18.7	-9.5	-27.9	-32.5	-31.5	-31.2	-32.7
計算結果　[合成値]	21	46.0	25.7	9.1	4.0	0.3	-0.8	-1.0	-2.1
許容値　[NC - 20]		51.0	40.0	33.0	26.0	22.0	19.0	17.0	16.0
寄与係数		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
実質許容値		51.0	40.0	33.0	26.0	22.0	19.0	17.0	16.0
実質許容値との差		-5.0	-14.3	-23.9	-22.0	-21.7	-19.8	-18.0	-18.1
Check		○	○	○	○	○	○	○	○

室名；サロン　　内容；吹出口騒音

摘　要		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	備　考
AHU-01	PWL	97.0	93.0	89.0	88.0	87.0	85.0	82.0	78.0	10800CMH x 500Pa (機外)　[メーカー資料]
ダンパ発生騒音	VD	53.5	52.5	52.5	48.5	43.5	38.5	33.5	28.5	750x750 (Q = 10800CMH , v = 5.3m/s)
合成		97.0	93.0	89.0	88.0	87.0	85.0	82.0	78.0	
ZS型消音器		-9.0	-13.0	-18.0	-20.0	-21.0	-21.0	-21.0	-21.0	750Ax750B - 950W x1050H x2100L
ダクト自然減音		-5.0	-5.0	-5.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	ダクト長 = 10m , 曲がり回数 = 0回
ND型消音器		-12.0	-17.0	-26.0	-31.0	-30.0	-24.0	-20.0	-17.0	1200Ax450B - 1500W x750H x2100L
計算		71.0	58.0	40.0	34.0	33.0	37.0	39.0	38.0	サロン貫通部ダクト内PWL
消音チャンバ		-4.0	-7.0	-10.0	-14.0	-15.0	-14.0	-12.0	-11.0	1400Wx1000Lx700H (GW50tx40k内貼)
分配比係数		-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	-7.8	10log [1800/10800]
消音チャンバ		-3.0	-6.0	-8.0	-12.0	-13.0	-11.0	-10.0	-9.0	700Wx700Lx600H (GW50tx40k内貼)
分配比係数		-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	10log [900/1800]
消音フレキ		-2.0	-6.0	-16.0	-30.0	-38.0	-36.0	-36.0	-36.0	250φx2000L
消音ボックス		-3.0	-4.0	-7.0	-14.0	-16.0	-14.0	-14.0	-14.0	600Wx600Lx600H (GW25tx40k内貼)
開放端反射		-10.0	-6.0	-3.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	350φ
計算		38.2	18.2	-14.8	-47.8	-59.8	-48.8	-43.8	-42.8	
器具発生騒音		19.1	14.1	14.1	10.1	5.1	3.1	2.1	-0.9	ノズル (#14 , Q = 900CMH , v = 2.6m/s)
合成		38.3	19.7	14.4	10.9	7.2	6.1	5.6	4.5	
10log [Q/4πr²x n]	直射音	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6	[n] (音源個数) = 12 個
10log [4/R x n]	拡散音	-5.0	-5.7	-6.2	-7.5	-7.5	-7.5	-7.2	-7.2	13mW x 13mL x 9mH (806m³)
放射係数		-4.6	-5.3	-5.7	-6.9	-6.9	-6.9	-6.6	-6.6	(20) - (21)
吹出口騒音 の計算結果		33.7	14.4	8.7	4.0	0.3	-0.8	-1.0	-2.1	合成値　11 dB(A)

	r (距離)	指向	n (個数)
Q1	7.0m	2	5
Q2	10.0m	2	7

※全ての系統（吹出・吸込・吹出ダクト透過・吸込ダクト透過）の計算を行い、合成値が NC-20 以下を確認。
その後、設計内容（ダクト寸法及び経路・消音装置の種類及び個数）の一部変更を行い、施工図に反映。

■ 結びとして

今回は大上段にテーマを掲げ、精一杯伝えたいと思い、文章を連ねました。ただ残念がら、私の力不足に起因する記載内容の不備や紹介資料の不足等があることも事実です。「技術を継ぐ」ことの難しさを痛感するばかりです。拙い資料ではありますが、些少でも皆さんの参考になれば、筆者としては嬉しい限りであります。

文責　EE設計　金田勝美