

駅のトイレの臭気対策に関する研究

JR東日本 東京支社 施設部 機械課 おおた かずひさ はやし
太田 量久・林 勝幸 かつゆき

1. はじめに

JR東日本では、グループの中期経営構想「ニューフロンティア21」の5つの柱の1つとして、「顧客価値の創造・顧客満足の追及」の達成を目標に掲げ、快適で利用しやすい駅を実現するために、駅設備のリニューアルやバリアフリー化に積極的に取り組んできました。今後も徹底した顧客指向のもと、高いレベルのサービス提供を目指しています。

2. 研究目的

駅設備のリニューアルに伴い、駅の旅客トイレは重点的な整備改修が進められてきました。特にトイレ内の臭気に関しては、今までも様々な対策が実施されており、従来に比べれば大幅に改善されてきました。しかしながらこうした取組みにもかかわらず、いまだ臭気は大きな問題点の1つとしてあげられています。

そこで本研究は、トイレの臭気に適した脱臭装置の検討とその効果の確認、また臭気の低減によって期待される空調効率の向上やランニングコストの低減などの二次的効果について、四ッ谷駅のモデルトイレにおいて検証を行うことを目的としています。

3. ニオイとは何か

ニオイとは揮発性のある化学物質で、大気とともに人間の鼻孔に吸い込まれ、嗅粘膜（嗅上皮とも言う）に接触すると嗅細胞を刺激してインパルスを生じさせ、それが中枢神経を経て脳に達して起こる感覚です。

人が感じる有香性の科学物質は約40万種あると言われていますが、大部分はベンゼン環を持つ有機系化合物で、芳香族化合物、テルペン系化合物、脂肪族化合物に分類することができます。無機系の化合物のほとんどはニオイがありませんが、フッ素、塩素、沃素、臭素、ハロゲン、オゾン、硫化水素、酸化窒素、アンモニアは不快な刺激臭があります。

4. 駅トイレの現状

トイレの悪臭は一般に、排泄物中に含まれる尿素が化学変化することで発生するアンモニアや尿石が原因といわれています。それは駅のトイレに関しても同じと考え

られます。アンモニアならびに尿石の発生メカニズムをまとめると以下ようになります。

①尿中に大量に含まれる尿素が一般細菌（雑菌）によって作られる酵素ウレアーゼによって分解される。



②分解された尿素はアンモニアに変換され、便器内の液性がアルカリ性に偏る。



③液性がアルカリ性に偏り、PHが8.0~8.5をこえると、尿中に溶解していたカルシウムイオン（Ca²⁺）が難溶性のカルシウム化合物（炭酸カルシウム、リン酸カルシウム等）となる。この化合物が尿石と言われる。



④尿石は多孔質であるため、有機物や雑菌が蓄積しやすくなる。

以上の過程を経て、悪臭の発生が進行していきます。尿石はいったん付着が始まると加速度的にその量を増加していき、それに比例した悪臭を発生させます。特に高温で多湿な夏場はバクテリアの繁殖に適した季節で、尿石の付着も一段と早くなります。またいったん尿石が付着してしまうと、洗浄水を流す回数をいくら増やしても除去効果を上げるのは困難です。また尿石は便器内に限らず、次のような場所に発生します。

- ・ 便器本体の影となるリムの部分
- ・ 小便器トラップ部
- ・ 配水管の中
- ・ 便器周辺の床や壁（尿の跳ね返りや垂れこぼし）
- ・ 床タイルの目地等（尿が染み込んで固着）

5. 現状での取組み

トイレの臭気対策として行われてきた取組みとしては、天井扇換気から巾木換気への換気方法の移行が代表的です。またその他にも、目地の少ない大判の床タイルへの変更や尿石で汚れた天井と壁の張替え、リム無し便器の設置などが行われてきました。

こうした取組みに加え、臭気対策に有効な方法として換気量の増加が図られてきました。しかしこの方法では

同時に冷暖房を実施する場合、その熱負荷を大きく増加させ甚大な容量の冷暖房装置が必要となり、経済的な負担が大きくなってしまいます。

こうした問題を解決し、旅客トイレの脱臭機能をさらに向上するため、従来とは異なった新しいアプローチによる臭気対策が必要とされました。

6. モデルトイレの空調設備

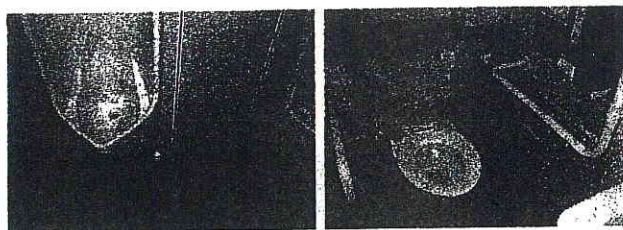
平成13年度の施策で、モデルトイレの1つとして選ばれた四ッ谷駅の旅客トイレでは、換気装置と冷暖房装置に加えて“脱臭装置”を用いた空調設備を設計しました。

(1) 換気装置

換気方法の選定では「臭気を鼻につけない」をコンセプトに、天井扇換気を使わない巾木換気のみによる換気方法を採用しました。

表一 換気計算表

室名	面積 (m ²)	天井 (m)	容積 (m ³)	換気回数 (回/h)	風量 (CMH)	静圧 (Pa)
男子便所	20.8	3.30	68.6	21	1,450	100
女子便所	14.6	3.45	50.4	25	1,260	
パウダーエリア (女)	11.6	3.45	40.0	12	490	
多目的トイレ	5.3	2.50	13.3	20	270	35
合計	52.3		172.3		3,470	



図一 巾木換気吸込み口の様子

(2) 冷暖房装置

旅客トイレの換気回数は一般居室の約2倍から4倍の設定となっており、冷暖房装置の設計を一般の居室と同様に行った場合、侵入する外気量の関係から冷暖房装置にかかる熱負荷がはるかに大きなものとなってしまいます。

この問題を解決するため、一般の居室（事務室等）と旅客トイレの持つ特性をそれぞれ比較した結果をもとに、冷暖房装置の機種と容量の選定を行いました。

(3) 脱臭装置

脱臭装置を様々な側面から比較し、トイレの脱臭に最も適していると考えられるものを選定しました。

ア. ニオイの脱臭方法

人間の嗅覚特性を利用することで、脱臭方法は以下の

表一 2 冷暖房方法の検討

	一般居室	トイレ	今回工事の考え方
設定温度	26℃	明確な基準無し	「あいまいさ」を持った設定
換気回数	5~10	10~20	巾木のみでの換気を考慮して20回
冷暖房能力	負荷計算により適正値を算出	居室に比べて非常に大きなものになる	温度ムラやニオイの循環が無い「外気処理エアコン」により局所冷房を実施する
給気	第一種機械換気で給気する場合もある	トイレ内を常に負圧に保つため一般に給気は行わない	給気量を抑制してトイレ内を負圧に保つ(表-3参照)
利用者の服装	年間を通じほぼ一定の服装	季節に合わせた服装	季節に合わせた服装(∴弱冷暖房を実施)
吹出位置	ショートサイクルの回避、風が直接人体に当たらないように設置	空調効果を感じやすい位置に設置	温度の違いや空気の動きを感じやすい「ひたい」に吹出した風が当たるように設置

表一 3 給気計算表

室名	面積 (m ²)	天井 (m)	室容積 (m ³)	給気回数 (回/h)	風量 (CMH)	静圧 (Pa)
男子便所	20.8	3.30	68.6	13.0	900	
女子便所	14.6	3.45	50.4	12.5	630	
パウダーエリア (女)	11.6	3.45	40.0	10.5	430	
多目的トイレ	5.3	2.50	13.3	10.5	140	
機器						
外気処理AC	52.3		172.3		2,100	160
給気ファン	52.3		172.3	12.1	2,100	100

2つに大別することができます。

○ニオイ物質を除去してしまう

○人間が感じられない物質に変えてしまう

ニオイ物質を除去するとは、換気量を増やすことや掃除を実施することで、トイレからニオイ物質を物理的に排出することです。人間が感じられない物質に変えてしまうとは、科学反応を利用した方法で、具体的には以下のような方法があります。これは「脱臭原理に基づく四つの方法」と呼ばれています。

①吸着法……活性炭・ゼオライト・シリカゲルなど

②溶解法……水

③分解法……バイオ分解・酸化分解・加水分解・イオン分解・燃焼法

④凝固法……高分子化合物

以上を踏まえ、脱臭装置が備えるべき性能として以下のものがあげられます。

・脱臭力が強い

・殺菌作用が高い

- ・広範囲に有効である
- ・人体に無害である

導入可能ないくつかの機種についてそれぞれの能力を比較し、今回設置する脱臭装置を決定しました。表-4に示す結果から、設置する脱臭装置はオゾン酸化法を脱臭原理とするオゾン脱臭装置としました。

表-4 能力比較表

脱臭装置	脱臭方法	脱臭力	殺菌作用	有効範囲	人体に無害	評価
消臭・芳香剤	凝固法 マスクング法	特定臭のみ有効	殆ど無い	広範囲はコスト高	無害	○
洗浄液	水洗法	特定部分のみ効果	弱い	部分的	無害	×
光触媒製品	分解法	弱い	強くない	拡散無し	無害	×
オゾン脱臭装置	オゾン酸化法	強い	強い	有効	低濃度では無害	◎

イ. オゾン脱臭装置

オゾン脱臭装置は、ホテルや病院、食品加工会社や養護老人施設に多数導入されているものですが、トイレへの導入は今回が初めての試みとなります。

オゾンは人体に有害ではないかという指摘がありますが、この装置は「低濃度オゾン」を利用することで安全性も確保しています。低濃度オゾンには以下のような特徴があります。またオゾン脱臭装置の仕様を表-5に示します。

- ①オゾンはその強い酸化力で臭い物質を直接分解して脱臭する。分子的に不安定なオゾンは脱臭後に自然分解し酸素に戻る。
- ②産業衛生学会許容濃度委員会は1985年に0.1ppmを労働環境におけるオゾンの許容濃度としており、1日8時間・週40時間程度の労働時間中にオゾン暴露濃度の算術平均値がこれ以下であれば、健康上影響がない濃度としている。低濃度オゾンは0.1ppm以

表-5 オゾン脱臭装置の仕様

仕様	オゾン脱臭装置
外形寸法	D236×W219×H200mm
消費電力	15W
マイナスイオン発生量	1,000,000個/cc以上(吹出口付近)
オゾン発生量	15mg/h以下
風量	最大2m ³ /min
オゾン濃度	0.06ppm以下(吹出口付近)
適応面積	1台あたり30~40m ²
電源電圧	AC100V(50/60Hz)
消費電力	10W
制御方式	シーケンサ制御

下のオゾンを指す。

ウ. 脱臭装置の設置

四ッ谷駅の旅客トイレでは室内の換気量に着目し、居室とトイレの換気回数比である約4倍から、オゾン脱臭器1台あたりの適応面積を10m²として設計しました。また、設置箇所についてはオゾンの拡散効率を考慮して配置しました。設置後の様子を図-2に示します。

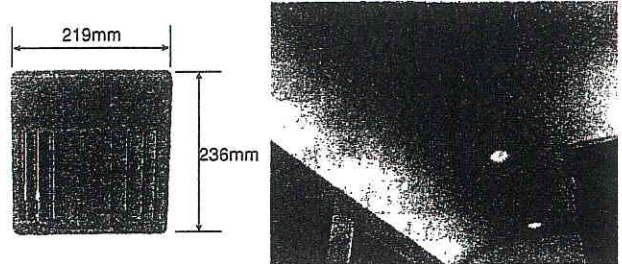


図-2 設置されたオゾン脱臭装置の様子

エ. 制御方法

オゾン脱臭装置の制御は専用の制御盤を用いて行います。今回は営業時間帯ならびに使用頻度を考慮して、運転時間を朝4:00~翌朝1:00までとし、運転モードを断続運転(10分運転5分停止)に設定しています。

7. 臭気測定実験

以上の設備について、脱臭装置の効果を検証するため、臭気測定実験を行いました。

測定対象となる旅客トイレにおける有香性の化合物分子は、排泄される尿や大便に含まれる成分に起因するものだと考えることができます。そのため測定器は、有機系化合物ならびに無機系化合物の両方に対して、幅広く測定が可能であることが求められます。

本研究では、有機物・無機物ともに測定が可能で、ニオイの強度をΣ値という評価値により一意に分かりやすく表現できる、K社製の測定器を利用することとしました。

(1) 測定方法

巾木換気を実施しているトイレにおいて、オゾン脱臭装置の脱臭効果を確認するため、以下の方法で臭気の測定を行いました。ここでの測定点の高さは人の鼻の高さ(床から1,500mm)を基準として測定しています。

測定は、表-6に示す運転の組合せで実施しました。また測定箇所を図-3に示します。

測定順序

- コンコース①でΣ値のベース値取得
- 測定点②~⑨でΣ値と温度を測定

(2) 測定結果

測定点②~⑨で測定されたΣ値の平均を、各測定モードでの代表値として時系列にプロットしました。(図-4)

表-6 測定時間と運転の組合せ

MODE	測定時間	測定間隔	オゾン脱臭装置	換気装置	冷暖房装置
1	7:00 ~ 20:00	1H	ON	ON	ON
2	7:00 ~ 20:00	1H	OFF	ON	ON

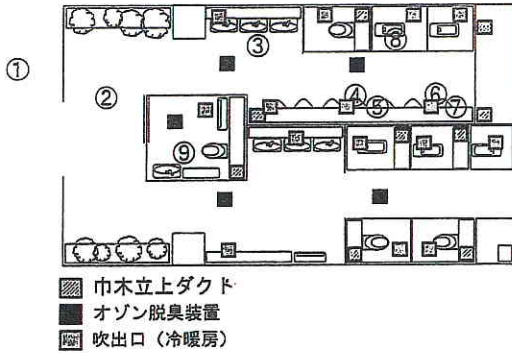


図-3 Σ値測定箇所

オゾン脱臭装置を運転した場合、停止時に比べてΣ値は終日低くなっており、脱臭の効果が見られる結果となっています。しかし、18:30以降については、いずれの場合も測定値が極めて高くなる傾向にあることが分かります。

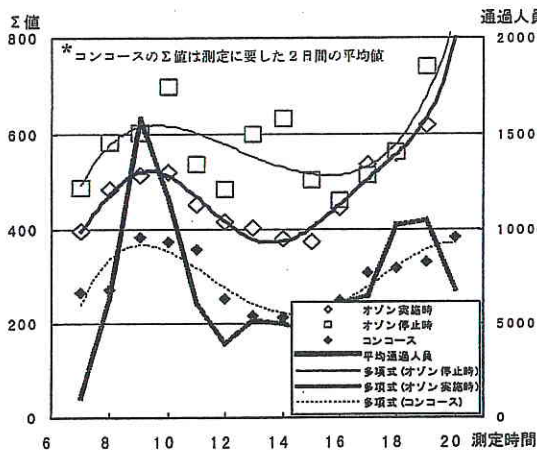


図-4 測定時間・通過人員とΣ値の関係

(3) GAPΣを利用した比較方法

今回の実験では各モードについて2日間に分けて臭気測定を行いました。そのため、温度や湿度など環境属性の違いが測定値に大きく影響を与えていると考えられます。そこで、環境属性を同じくし、かつ臭気属性について独立な2箇所の測定値の相対的な関係をもとに、臭気強度を判断する手法(ギャップ法)を用いました。ギャップ法は、各モードでのトイレ内のΣ値の平均値からコンコースのΣ値を差し引いた値GAPΣ値をそれぞれ比較するもので、環境属性の違いによる影響に加えて、乗降客数や計器のオフセット誤差も吸収できると考えられ

ます。

今回利用した測定機器が準拠する臭気強度の基準値をもとに、コンコースの臭気強度を“快適な空気”の上限“90”として、臭気強度区分表を再編成し、表-7に示します。

表-7 臭気強度区分表

区分	GAPΣ値	実用的意味	評価
A	0~90	ニオイを感じない快適な空気	◎
	90~130	普通のひとでニオイを感じない	○
B	130~160	ニオイを感じるが気にならない	△
	160~260	臭気を充分感じ苦情が出てくる	▲
C	260以上	臭気が不快感を催す	■

再編成された臭気強度区分表から、各運転モードで測定されたGAPΣ値は以下の3つに区分されます。

- 区分A: 快適である
- 区分B: ニオイを感じる
- 区分C: 不快である

ここで設定した臭気管理値の考え方を今回の測定結果にあてはめると、オゾン脱臭装置の運転時は18:30以降、また運転停止時は10:30以降で、測定された臭気が管理値GAPΣ = 260を超えていることが分かります。

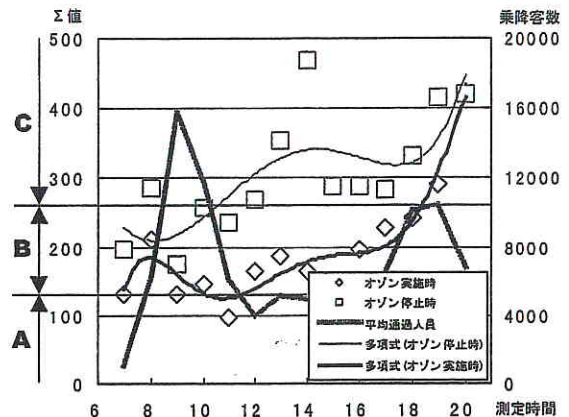


図-5 GAPΣ値の比較と臭気区分

以上をまとめると、GAPΣ値を利用した臭気管理値(快適性の限界)は次のように表されます。

$$\begin{cases} \text{GAP}\Sigma = \Sigma_{\text{トイレ}} - \Sigma_{\text{コンコース}} \\ \text{GAP}\Sigma \leq 260 \end{cases}$$

(4) 臭気測定実験のまとめ

臭気強度の測定値を運転時と停止時で比較し、オゾン脱臭装置の有効性を示すことができました。しかしながら、18:30以降ではいずれの場合も測定値は上昇傾向にあり、その際の臭気をいかに管理値内に収めるかが今後の課題です。

8. エアバランスの見直しによるコストダウン

今回の取組みの経済的効果を算定するため、従来方式・今回方式・新方式について、それぞれのLCCを比較しました。ここで「従来方式」とは、換気回数を20回として一般居室と同様の負荷計算に基づき冷暖房装置の能力選定を行う方式です。また「今回方式」は本研究で行った設計手法に基づく方式です。最後に「新方式」とは、オゾン脱臭装置の脱臭能力を換気相当差し引いた形で換気回数を設定し、一般居室と同様の負荷計算に基づいた設計を行う方式を示しています。

(1) 換気量の見直し

得られた実験結果から、オゾン脱臭装置の脱臭効果により軽減される換気量の算出を行いました。

オゾン脱臭装置を運転していない状態を1、運転している状態を2とし、各状態での体積を V_i 、 Σ 値の比を s とすると、ウェーバーフェヒナーの法則から以下のような関係式が成り立ちます。

$$V_2 = V_1 \times s^{2.486} \dots\dots ①$$

s の指数2.486は、三点比較式臭袋法による測定器の校正値です。なお、この関係式の相関係数は $R^2 = 0.931 \sim 0.990$ と非常に高く、十分信頼できるものと言えます。

式①を利用し、換気回数を見直しを行います。換気量 V_1 には今回方式での換気回数20を代入し、パラメータ s には図-6に示す各測定時間毎の Σ 値の比を代入すると、各測定時間毎の必要換気回数は下のグラフのように表すことができます。

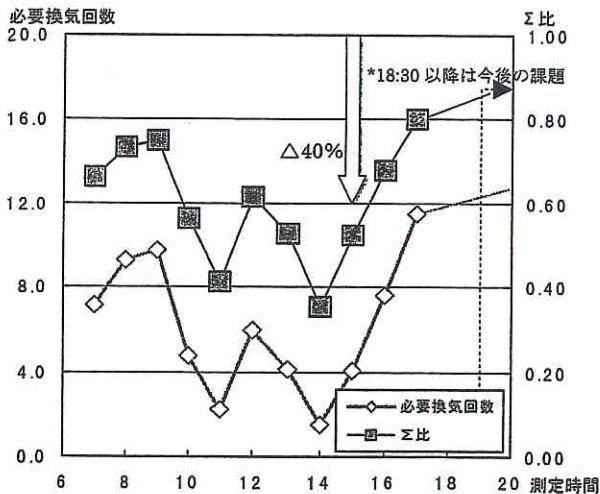


図-6 Σ比と必要換気回数

必要換気回数を示すグラフから、使用頻度の高い時間帯でも十分な換気を行うためには、12回以上の換気回数が必要となることが分かります。つまり換気量は初期設計の40%まで削減することができることを示唆しており、オゾン脱臭装置は冷暖房負荷の大きな要因となる換気量を低減する働きがあることが証明されました。

(2) ライフサイクルコスト (LCC) の比較

算出されたオゾン脱臭時の必要換気回数を利用して、従来方式・今回方式・新方式について、それぞれの方式でのLCCを比較しました。

従来方式に比べ、今回方式では、能力の小さな冷暖房装置を選定することでライフサイクルコスト低減に大きく貢献できました。LCCを比較したグラフから、約3年半で損益分岐点が現れ、4年目からはコストダウン効果現れているのが確認できます。

さらに新方式として、オゾン脱臭装置の効果を換気相当分に置き換えて、エアバランスの見直しを行った結果、換気回数を20回から12回に低減できることが分かりました。その結果、冷暖房にかかる熱負荷が大幅に減少し、装置に要求される能力が小さく抑えられることで、インシヤルコストならびにランニングコストの大幅な縮減が可能となることが分かりました。

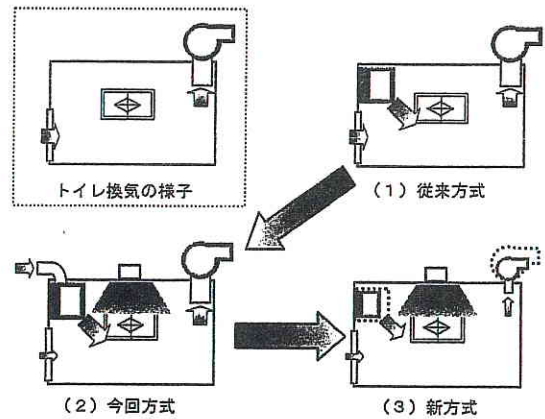


図-7 空調方式のイメージ

表-8 機器仕様表

	従来方式	今回方式	新方式
換気装置	20回	20回	12回
冷暖房装置	室外機 40W 室内機 9kW×4 室内機 3.6kW×1	室外機 27kW ラインファン	室外機 20kW 室内機 8kW×2 室内機 3kW×1
オゾン脱臭装置	脱臭無し	換気相当分 0回	換気相当分 8回

表-9 コスト比較表 (千円)

	コスト	従来方式	今回方式	新方式
		合計	3,800	7,650
	ランニング	1,739	705	1,069

(3) コストダウン検証結果

四ッ谷駅では利用実態を考慮した冷暖房装置の選定と吹き出し口の設定により、従来方式に比べて大幅なLCC低減を図ることができました。さらに新方式では、脱臭効果を換気相当分に置き換えることにより、冷暖房装置

だけでなく、換気装置のスペックダウンを可能とできました。図-8より、設置後の10年間では今回方式を上回るコストダウンが図れていることが確認できます。

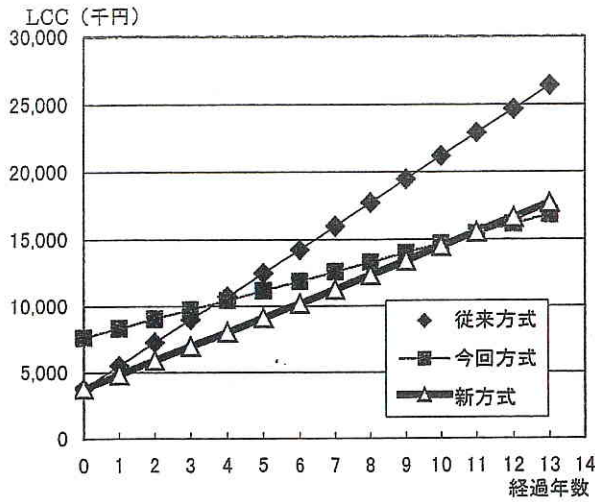


図-8 LCC比較結果

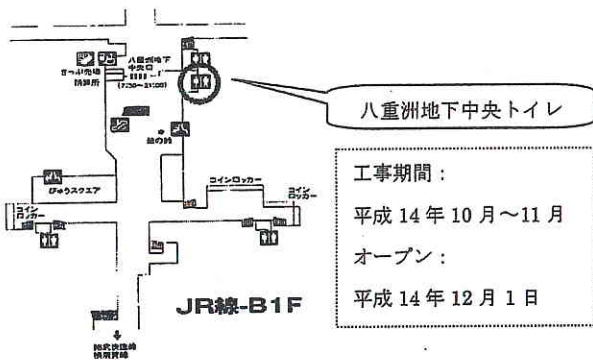


図-9 東京駅八重洲地下中央トイレ

表-10 機器仕様表

仕様		記事
冷暖房装置	冷温熱源	既設
	<ul style="list-style-type: none"> 男性用トイレ (61m²) 室内機 (天井隠蔽型) FCU×1台 冷房能力 24kW 4,800CMH 女性用トイレ (115m²) 室内機 (天井隠蔽型) FCU×各1台 冷房能力 20kW 3,840 CMH 	新設
換気装置	<ul style="list-style-type: none"> 排気ファン (トイレ内設置) 男性用トイレ 3,600CMH 女性用トイレ 3,000CMH ベビー休憩室+多目的トイレ 3,500CMH 	新設
	排気ファン (機械室設置) 16,400CMH	新設
脱臭装置	<ul style="list-style-type: none"> オゾン脱臭装置 低濃度オゾン使用 (濃度0.06ppm以下) 最大風量 120CMH 	全13台 (16m ² /台)

9. 研究成果の展開

平成14年度、東京支社では四ツ谷駅での検証から新たにその効果が明らかになった「新方式」でのトイレ空調方式を利用して、渋谷駅ならびに東京駅の全16箇所におよぶ旅客トイレの改良を行いました。ここでは今回最大の改良が実施された東京駅の八重洲地下中央トイレを紹介いたします。

八重洲地下中央トイレは新幹線乗り換え口に近く、また待ち合わせスポットの銀の鈴広場に近いことから利用者数が非常に多いトイレです。今回の改良では、トイレ内が約2倍に増床され、便器台数が約1.5倍に、またベビー休憩室ならびに多目的トイレが新設されました。新設した換気装置、冷暖房装置、オゾン脱臭装置、各機器の仕様は表-10の通りとなっています。

10. 今後の展開

トイレの臭気対策は現在、駅における旅客サービス向上の面で大変重要な課題となっています。平成14年度では今回ご紹介した東京駅八重洲地下中央トイレ以外の15箇所についても、同様の空調方式で、換気装置、冷暖房装置、脱臭装置の整備を行いました。

また今回から新しい取り組みとして、従来の巾木ユニットから、より低コストでトイレの外観を損なわず、簡易な施工で下吸込みが実現できる「簡易型吸込み管」の設置も行いました。これにより、従来のような大規模な建築工事を必要とせず四ツ谷駅方式でのトイレ空調システムを実現することが可能となりました。

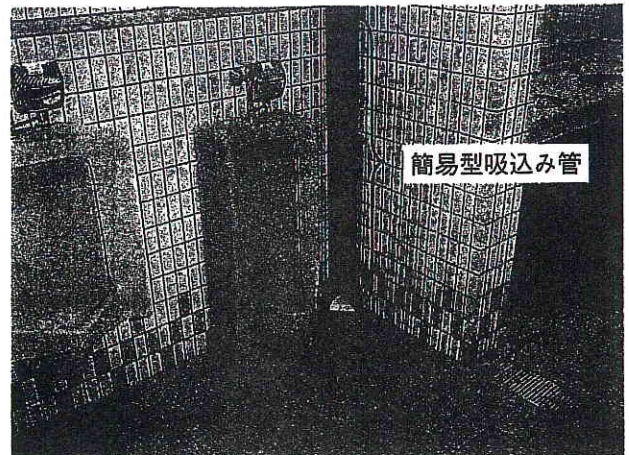


図-10 簡易型吸込み管の例

11. まとめ

東京支社では以上の成果をもとに、東京駅他15箇所のトイレで実施された「新方式」による空調方式を今後のトイレ整備における標準とし、より高品質なサービス提供のため努めていきたいと考えています。